Evaluation et représentation des enjeux environnementaux dans une perspective de transitions écologique et énergétique

Natacha Gondran

▶ **To cite this version:**

Natacha Gondran. Evaluation et représentation des enjeux environnementaux dans une perspective de transitions écologique et énergétique. Sciences de l'environnement. Université Jean Monnet de Saint-Etienne; Ecole des Mines de Saint-Etienne, 2015. tel-01157944

HAL Id: tel-01157944

https://hal-emse.ccsd.cnrs.fr/tel-01157944

Submitted on 29 May 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Evaluation et représentation des enjeux environnementaux dans une perspective de transitions écologique et énergétique

Habilitation à Diriger des Recherches

Présentée le 24 avril 2015

A l'Ecole des Mines de Saint-Etienne

Et à l'Université Jean Monnet de Saint-Etienne

Par

Natacha Gondran

DISCIPLINE : Sciences et Génie de l'Environnement

Membres du jury

Rapporteurs :	Agnès JULLIEN	Directeur de Recherche, IFSTTAR, Bouguenais
	Jean-Pierre NICOLAS	Chargé de Recherche, LET - ENTPE, Vaulx-en-Velin
	Patrick ROUSSEAUX	Professeur, Université de Poitiers, Poitiers
Examinateurs	Bernard BOURGES	Professeur, Mines Nantes
	Christian BRODHAG	Directeur de Recherche, EMSE, Saint-Etienne
Directeur de recherche :	Didier GRAILLOT	Directeur de Recherche, EMSE, Saint-Etienne
Invité :	Olivier FREROT	Vice-Recteur de l'Université Catholique de Lyon

"Somewhere over the rainbow
Way up high
And the dreams that you dreamed of
Once in a lullaby

Oh somewhere over the rainbow
Bluebirds fly
And the dreams that you dreamed of
Dreams really do come true"

E.Y. Harburg, *Over the Rainbow* 1939

Repris par Israel Kamakawiwo'ole (1993)

Résumé

De nombreux articles scientifiques alertent sur les risques de conséquences irréversibles et de changements environnementaux brutaux provoqués par l'atteinte des limites planétaires pour différents processus naturels du système Terre. Ces constats appellent à des changements, à court et moyen termes, de nos comportements et modes de vie afin de limiter nos pressions sur l'environnement. Dans ce contexte global, nous considérons l'évaluation environnementale comme un moyen de construire de nouvelles représentations de l'environnement afin d'amener les acteurs à mieux prendre en compte les enjeux écologiques à différentes échelles. A cette fin, nous souhaitons développer des outils d'évaluation qui ne reposent pas sur le postulat de substituabilité entre capital naturel et capital humain.

Nos travaux de recherche se positionnent à l'interface entre les outils d'évaluation de niveau « macro » et ceux au niveau « micro » de chaque organisation. Ils s'appuient sur des approches de comptabilité environnementale basées sur les consommations des systèmes étudiés (et non sur leurs seules émissions directes). Positionnés dans une logique de recherche intervention, ils ont pour objectif de proposer, aux acteurs impliqués, un élargissement de leurs critères de décision afin de les amener à prendre conscience et à identifier les impacts de leurs activités sur l'environnement et les aider à les optimiser. Afin de répondre aux besoins de leurs utilisateurs, les outils de comptabilité environnementale développés s'appuient sur différentes méthodologies : analyses de risques, évaluation qualitative à base d'indicateurs, méthodologies d'analyse multicritère, analyse de cycle de vie et empreinte écologique.

La problématique de l'évaluation implique la recherche d'un double équilibre à trouver, d'une part, entre approche normative versus approche évaluative et d'autre part entre précision et exhaustivité scientifique versus l'expression de résultats simples souhaités par les usagers des outils proposés. Elle requiert également une approche interdisciplinaire, basée sur la recherche-intervention, que nous discuterons en décrivant quelques principes que nous essayons de suivre pour guider nos méthodologies de recherches.

Nos perspectives de recherche s'inscrivent dans une volonté de proposer aux acteurs impliqués des outils de comptabilité environnementale visant à guider les transitions écologiques et énergétiques. Ces perspectives se structurent autour de trois axes de recherche complémentaires et un axe transverse de réflexion.

- Notre premier axe vise à appliquer des méthodes de comptabilité environnementale à d'autres systèmes complexes que ceux étudiés jusqu'alors.
- Le deuxième axe a pour objectif d'améliorer les outils d'évaluation existant dans une perspective d'aide à la décision.
- Notre troisième axe de recherche propose une réflexion amont sur le choix de nouveaux indicateurs qui semblent nécessaires dans une perspective de transition, tant par la forme que par le fond du choix des indicateurs.
- Enfin, nous ouvrons des pistes de réflexion transverses en nous interrogeant sur le lien entre le temps, la vitesse, l'accélération et la durabilité.

Mots clés : Evaluation environnementale, pressions sur l'environnement, empreinte écologique, interdisciplinarité, durabilité

Evaluation and representation of environmental issues with the aim of ecological and energy transition

Abstract

According to several recent scientific articles, some planetary boundaries have already been overstepped and crossing certain biophysical thresholds could have disastrous consequences for humanity. This risk appeals to important changes, at short and longer terms, within our ways of behaving and living. In this global context, environmental assessment is considered as a way of constructing new representations of environmental issues to make people consider ecological issues. With this in mind, we endeavor to develop environmental assessment tools that do not rely on the substitutability assumption between natural and man-made capital.

Our research projects are situated at the interface between macro-environmental assessment tools (at the scale of Nations) and the micro-level of the organization. The environmental accounting methods that are developed use consumption-based approaches. Thus, they do not only consider direct emissions of the system under study but also its indirect impacts. Based on intervention research approach, they aim to help decision-makers to increase their decision criteria in order to make them aware and identify the environmental impacts of their activity in view to optimize them. To answer to the needs of their users, the accounting methods that are developed rely on various methodologies: risk analysis, qualitative indicators-based assessment, multi-criteria analysis, life cycle assessment and ecological footprint.

Environmental assessment implies to search for a double equilibrium between, on one hand, normative versus constructive approach, and on the other hand, between scientific precision and completeness versus simplicity of results that is expected by the potential users. It also involves an interdisciplinary approach, based on intervention research, which will be discussed to present some "tricks of the trade" that guide our research methodology.

Our research perspectives endeavor to propose environmental accounting methods to help decision makers with the aim of ecological and energy transitions. These perspectives are structured around three axes:

- The first research axis aims at applying environmental accounting methods to new complex systems
- The second axis aims at improving existing environmental assessment tools in view of a better reflection and decision aid.
- The third research axis proposes an upstream reflection about the choice of new indicators that appear necessary with the aim of transition. The originality of these indicators could rely as well as within their definition than their presentation.
- At least, some transversal tracks of reflection are opened to question the relationships between time, speed, acceleration and sustainability.

Keywords: environmental assessment, environmental pressures, ecological footprint, interdisciplinarity

Sommaire

Liste des figures 8
Liste des tableaux 10
Liste des abréviations 11
Remerciements 13
Curriculum vitae 15
Prologue : Un chemin de rencontres 17
1. Introduction : évaluation et représentation des enjeux environnementaux 27
2. Des enjeux environnementaux planétaires et locaux 33
2.1 Diffusion et mobilisation des connaissances sur les enjeux environnementaux 43
2.1.1 La notion d'acteur 43
2.1.2 Données, informations, communication et rationalités 45
2.1.3 De l'information à la connaissance 47
2.1.4 Le cadre conceptuel K* 50
2.2 L'évaluation environnementale stratégique : des impacts aux enjeux 58
2.3 La comptabilité environnementale pour représenter les enjeux environnementaux 68
2.3.1 Des questions de valeurs… 76
2.3.2 L'évaluation environnementale induit de nouvelles représentations de l'environnement 82
2.3.3 Au cœur des débats entre écologie et économie : l'épineuse question de la substituabilité 84
2.4 Les outils d'évaluation monétaire de l'environnement 91
2.5 Synthèse du chapitre sur les enjeux environnementaux planétaires et locaux 94
3. Evaluer la durabilité, ou non-durabilité, écologique : une démarche interdisciplinaire qui s'affirme 97
3.1 Un positionnement particulier : des travaux interdisciplinaires basés sur la recherche-intervention 97
3.2 Les méthodologies de comptabilité environnementale : des outils de représentation des enjeux environnementaux 101
3.2.1 Le choix d'une approche de comptabilité environnementale basée sur les consommations 102
3.2.2 Un élargissement des champs de la comptabilité environnementale à partir d'approches multicritères ou basées sur les flux biophysiques 106
3.2.3 Les outils de comptabilité environnementale à base d'indicateurs 107
3.2.4 Les outils de comptabilité environnementale basés sur les méthodes d'analyses de risques 109

3.2.5 Les outils d'évaluation qualitative à base d'indicateurs 114
3.2.6 Un focus spécifique sur les questions énergétiques 125
3.2.7 Les méthodes quantitatives de représentation d'indicateurs 128
3.2.8 L'empreinte écologique 140
3.2.9 Récapitulatif sur les méthodes d'évaluation développées dans le cadre des thèses co-encadrées 153
3.3 Les limites de la recherche sur l'évaluation environnementale 157
3.3.1 Un équilibre à trouver entre approche normative et approche évaluative, voire constructiviste 157
3.3.2 Dilemme de la précision scientifique versus la simplification souhaitée par les décideurs 159
3.3.3 Les limites de l'évaluation environnementale 161
3.4 Evaluation environnementale : des enjeux qui viennent interroger l'approche disciplinaire traditionnelle 165
3.4.1 Une communauté académique qui se crée 165
3.4.2 L'interdisciplinarité nécessite de la discipline 168
3.5 Synthèse du chapitre présentant les travaux de recherches réalisés 180
4. Perspectives de recherche : pour une comptabilité environnementale visant à guider les transitions 183
4.1 Premier axe de recherche : Application des méthodes de comptabilité environnementale à des systèmes complexes 188
4.2 Deuxième axe de recherche : vers une amélioration des outils d'évaluation existant dans une perspective d'aide à la réflexion voire à la décision 193
4.2.1 Quelle cohérence des différentes méthodologies d'évaluation des pressions environnementales, selon les différents niveaux ? 193
4.2.2 Estimer l'incertitude en vue de l'utilisation des outils d'évaluation pour l'aide à la décision 202
4.3 Troisième axe de recherche : vers de nouveaux indicateurs dans une perspective de transition 208
4.3.1 Modifier les représentations par des outils pédagogiques adaptés aux différents publics 208
4.3.2 Réflexion et propositions d'indicateurs susceptibles de faire l'objet de seuil de durabilité 212
4.4 Axe de réflexion transverse : la vitesse est-elle durable ? 217
4.5 Synthèse de nos perspectives de recherche pour une comptabilité environnementale visant à guider les transitions 223
5. Ouverture 225

6. Bibliographie 230
ANNEXE 1. CV Détaillé 250
Directions de recherches 250
Co-encadrement de thèses en cours : 250
Co-encadrement de thèses soutenues 250
Participations à des jurys de thèses non co-encadrées 253
Direction de mémoires de master recherche 254
Publications 259
Articles dans des revues à comité de lecture 259
Contributions (orales ou affichées) à des congrès ayant donné lieu à des actes 261
Ouvrages et contributions à des ouvrages collectifs 263
Textes de vulgarisation ou de valorisation 264
Mémoires ayant permis de soutenir des diplômes 265
Rapports de fin de contrat. 266
Dépôt de brevets ou référencements IDDN auprès de l'Agence de Protection des Programmes 267
Autres faits marquants 267
Invitations à donner des conférences et à participer à des congrès et émissions scientifiques de radios nationales 267
Organisations de congrès nationaux et internationaux, ... 268
Evaluation d'articles pour des revues internationales 268
Prix 269
Séjours à l'étranger 269
Diffusion des connaissances scientifiques vers le grand public et les décideurs 270
Missions d'expertise 270
De nombreuses conférences « Grand public » 271
Formation 271
ANNEXE 2. Références de 5 publications essentielles 274

Liste des figures

Figure 1. Au-delà des limites (traduit de (Rockström et al. 2009)) 35

Figure 2. La notion de pic du pétrole (Wingert 2005) 38

Figure 3. Tableau de bord environnemental 2012, présentant les progrès réalisés sur les principaux enjeux environnementaux (United Nations Environment Programme (UNEP) 2012a) 41

Figure 4. Processus cognitif et décisionnel (traduit de (Van Gigch 1987)) 45

Figure 5. Le schéma de la communication inspiré de (André 1999) 46

Figure 6. Transferts de connaissances explicites et tacites (d'après (Nonaka, Toyama & Konno 2000)) 48

Figure 7. Représentation du transfert de connaissances (traduit de (Shaxson, Bielak & et al. 2012.)) 50

Figure 8. Représentation de l'échange de connaissances (traduit de (Shaxson, Bielak & et al. 2012.)) 51

Figure 9. Représentation du courtage de connaissances (traduit de (Shaxson, Bielak & et al. 2012.)) 52

Figure 10. Le spectre K* (traduit de (Shaxson, Bielak & et al. 2012.)) 53

Figure 11. Positionnement de K* dans le modèle linéaire de transfert de technologies (traduit de (Shaxson, Bielak & et al. 2012.)) 54

Figure 12. Représentation de K* comme englobant l'ensemble du jeu d'acteurs (traduit de (Shaxson, Bielak & et al. 2012.) 55

Figure 13. Typologie des impacts intermédiaires et dommages selon IMPACT 2002 + (d'après (Humbert et al. 2012) 66

Figure 14. Modèle Pression Etat Réponse proposé par (OCDE 1993) 71

Figure 15. Le cadre d'évaluation DPSIR, traduit de (Kristensen 2004) 71

Figure 16. Cadre conceptuel des interactions entre services d'origine écosystémique et le Bien-être de l'Homme (traduit de (Millennium Ecosystem Assessment 2005)) 74

Figure 17. Essai de typologie des approches du développement durable : échelle de perception (Boutaud 2005) 77

Figure 18. Exemple de typologie des outils d'évaluation de la durabilité (d'après une synthèse de (Gasparatos, Scolobig 2012)) et (Le Pochat et al. 2013)) 79

Figure 19. Représentation de la pensée sociale selon M.L. Rouquette (cité par (Rateau, Ernst-Vintila & delouvée 2012)) 82

Figure 20. Représentation des différents impacts, directs et indirects, d'une organisation .. 104

Figure 21. Avancement des travaux de mise à 2*2 voies de la RN7-RN82 dans la Loire, l'Allier et la Nièvre, en 2008 (source CCI du Roannais) 109

Figure 22. Vue du chantier de déboisement et terrassement pour la mise à 2*2 voies de la RN7 – RN 82 à Vendranges (crédit photo DDE 42) 110

Figure 23. Bassin de rétention provisoire mis en place, dans le cadre de la démarche de management environnemental, sur le chantier de la mise à 2*2 voies de la RN7 – RN 82 à Vendranges 112

Figure 24. Croisement importance / performance pour évaluer les niveaux de priorités des différents enjeux 117

Figure 25. Siège de INDDIGO (Chambéry), une des entreprises les plus engagées dans le cadre de l'expérimentation SD 21000 (crédit photo : INDDIGO) 118

Figure 26. Vue aérienne de la zone d'activités de Molina la Chazotte où cohabitent PME industrielles et de services, très petites entreprises (TPE) et habitations (Schneider 2005) ... 121

Figure 27. Vue de la zone d'activités de Molina la Chazotte (en 2005) (crédit photo : F. Paran) 121

Figure 28. La Tour Borie, à Saint-Etienne, qui a servi de terrain d'expérimentation à la thèse de J. Villot (crédit photo : Cité Nouvelle) 126

Figure 29. Les différentes approches d'agrégation possibles (Maystre, PICTET & SIMOS 1994) 129

Figure 30. La station d'épuration de Furania, à La Fouillouse 131

Figure 31. Exemple de fonction d'utilité choisie pour la DBO5 (Dumoulinneuf, Gondran & Laforest 2011) 132

Figure 32. Exemple de représentation pour l'évaluation des impacts environnementaux liés aux activités d'une station d'épuration (Dumoulinneuf, Gondran & Laforest 2011) 133

Figure 33. Siège social du groupe CASINO, situé à Saint-Etienne 134

Figure 34. L'empreinte écologique des grandes régions du Monde en 1961 et 2008, par personne (Grooten 2012) 142

Figure 35. La pyramide de l'information ((Nicolas 2013) citant Levarlet (1999) d'après Braat (1991)) 160

Figure 36. Les établissements partenaires et les composantes de l'UMR 5600 EVS (UMR 5600 EVS 2014) 168

Figure 37. Expression de l'impact « contribution au changement climatique » exprimé en kg CO_2 équivalent lors de la phase de fabrication (amortissement) et d'utilisation d'équipements informatiques, selon deux sources de données de caractérisation différentes (méthodes Bilan Carbone® et CML 2001) (Moreau 2012) 176

Figure 38. Représentation de la méthodologie de calcul des analyses input-output étendues à l'environnement (Pasquier 2010) 196

Figure 39. Schéma type des méthodes de comptabilité environnementale (traduit de (Blanc et al. 2009)) 200

Figure 40. Le cycle de l'accélération (Rosa 2012) 219

Figure 41. L'accélération technique et la transformation de notre rapport au monde (Rosa 2012) 220

Liste des tableaux

Tableau 1. Les limites de la Planète (traduit de (Rockström et al. 2009)) 36

Tableau 2. Dépendance de l'Union Européenne en matière première minérale (BRGM, 1997) ; depuis cette date la tendance n'a fait que croître.(Varet 2007b) 39

Tableau 3. Nature des problèmes et décisions caractéristiques des activités de planification et contrôle (traduit de (Anthony, Walker 1993)) 60

Tableau 4. Nature des systèmes et des informations caractéristiques des activités de planification et contrôle (traduit de (Anthony, Walker 1993)) 60

Tableau 5. Exemple de méthodes d'évaluation environnementale positionnées selon les différents niveaux hiérarchiques 61

Tableau 6 . Représentation des positionnements des principaux outils d'évaluation en matière de développement durable 81

Tableau 7. Tableau de critères et notes mis en place pour le Service Transports et Infrastructures de la DDE 42 (Service Transports et Infrastructures de la DDE 42 2004) 112

Tableau 8. Projets menés avec la DDE 42 de 2003 à 2008 113

Tableau 9. Liste des enjeux étudiés pour l'expérimentation « SD21000 » en Rhône-Alpes ... 116

Tableau 10. Synthèse des projets entrepris dans le cadre de l'évaluation de la responsabilité sociétale des PME / PMI 118

Tableau 11. Synthèse des projets entrepris dans le cadre de l'évaluation d'une zone d'activités, dans une perspective de développement durable 123

Tableau 12. Synthèse des projets entrepris dans le cadre de l'évaluation basée sur les méthodes d'analyse multicritère 135

Tableau 13. Synthèse des projets financés par des partenaires et ayant fait appel à l'analyse de cycle de vie 139

Tableau 14. Synthèse des projets financés par des partenaires extérieurs, sur le thème de l'empreinte écologique 151

Tableau 15. Récapitulatif des thèses soutenues selon l'objet de la recherche 156

Tableau 16. Liste des « *classiques* » sélectionnés par les enseignants de ERG comme lecture obligatoire pour la première année du cours de « *classiques de l'environnement* » 172

Tableau 17. Positionnement thématique des mémoires de master recherche initiés et encadrés 258

Liste des abréviations

ACV	Analyse de Cycle de Vie
ADEME	Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
AERES	Agence d'Evaluation de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur
AMC	Analyse MultiCritère
ANAH	Agence NAtionale de l'Habitat
ANR	Agence Nationale de la Recherche
ANRT	Association Nationale Recherche Technologie
CIFRE	Convention Industrielle de Formation par la Recherche
CNRS	Centre national de la recherche scientifique
COICOP	Classification of Individual Consumption by Purpose
CRENAM	Centre de recherche sur l'environnement et l'aménagement
EcoSD	Eco-Conception de Systèmes Durables
EES	Evaluation Environnementale Stratégique
EMSE	Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne
EPASE	Etablissement Public d'Aménagement de Saint-Etienne
ERG	Energy and Resources Group (Université de Californie, Berkeley)
ERT	Équipe de Recherche Technologique (Université Jean Monnet de Saint-Étienne)
EVS	Environnement Ville et Société
HANPP	Human Appropriation of Net Primary Productivity
HDR	Habilitation à Diriger les Recherches
ICM	Ingénieur Civil des Mines
ISC-Paris	Institut Supérieur de Commerce de Paris
IMEA	IMports Environmental Accounting
INSA	Institut National des Sciences Appliquées
ISTP	Institut Supérieur des Techniques en Productique
ITUS	Ingénieries, Techniques, Urbanisations, Sociétés
LAEPSI	Laboratoire d'Analyse Environnementale et des Systèmes Industriels
LET	Laboratoire d'Economie des transports
LUTB	Lyon Urban Trucks and Buses
MEDAD	Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durables
MFA	Material Flow Analysis (analyse métabolique des flux)
MUSC	Matrice d'Utilisation des Sols par Consommation
MRIO	Multi-Regional Input Ouput
OCDE	Organisation de Coopération et Développement Economique
OQADD	Outils de Questionnement et d'Analyse du Développement Durable
PIESO	Performances Industrielles et Environnementales des Systèmes et des Organisations
PME	Petite et Moyenne Entreprise
RAEL	Renewable and Appropriate Energy Laboratory (Université de Californie, Berkeley)
RSE	Responsabilité Sociétale des Entreprises
SCOT	Schéma de COhérence Territoriale
SEIU	Sciences de l'Environnement Industriel et Urbain
SEPIT	Sciences de l'Environnement pour les Processus Industriels et Territoriaux
SITE	Sciences, Information, Technologies pour l'Environnement
SME	Système de Management Environnemental
SOES	Service de l'Observation et des Statistiques
STADE	Systèmes Territoriaux Aide à la Décision Environnement
TD	Travaux Dirigés
TES	Tableau Entrées sorties
UJM	Université Jean Monnet de Saint-Etienne
UMR	Unité Mixte de Recherche
UNEP	United Nations Environment Programme

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Agnès Jullien, Patrick Rousseaux et Jean-Pierre Nicolas, pour avoir accepté d'être rapporteurs de ce mémoire. Merci également à Bernard Bourges et Olivier Frérot pour leur participation à ce jury. Ma gratitude envers vous tient également à votre large contribution, en tant que pionniers, à la reconnaissance de l'évaluation environnementale comme thématique scientifique en dépit de l'interdisciplinarité qu'elle implique.
Si j'ai aujourd'hui la chance d'être enseignante-chercheur, je le dois en particulier à Christian Brodhag et Didier Graillot. C'est grâce à une rencontre fortuite avec Christian que je me suis engagée dans une thèse, qu'il a encadrée. Il m'a ensuite accordé pleinement sa confiance pour co-encadrer très rapidement de nombreuses thèses avec lui. Je le remercie pour avoir accepté d'être aujourd'hui encore dans ce jury, mais également pour sa confiance, son ouverture d'esprit, ses capacités à « remettre sur le métier » ses idées, ainsi que pour toutes les discussions à bâtons rompus que nous avons régulièrement. Didier Graillot, quant à lui, a fondé, et dirigé le centre SITE dont les valeurs et missions m'ont convaincue de m'engager dans une carrière d'enseignante-chercheur. Je le remercie très sincèrement d'avoir accepté de diriger ce mémoire, mais également pour le modèle, atypique mais efficace, de chercheur et responsable d'équipe qu'il représente pour moi. Merci à toi, Didier, pour la pertinence de tes réflexions et propositions d'approfondissement, mais surtout pour l'humour, la fraîcheur et la passion que tu insuffles perpétuellement dans ce métier !
Je remercie également les chercheurs de l'Energy and Resources Group, de l'UC Berkeley, dont la vision a beaucoup influencé ma propre construction en tant que chercheur. Merci en particulier à Daniel Kammen pour m'avoir acceptée au sein de ce centre prestigieux et pour toutes les discussions qu'il m'a accordées et qui ont contribué à mon choix d'une carrière académique de « chercheur engagé » !
La recherche n'est pas, pour moi, « un sport de combat », mais un véritable sport d'équipe… Merci infiniment à mes co-équipiers de longue date, Valérie Laforest, Eric Piatyszek, Hervé Vaillant, Zahia Mazer, Alicja Tardy, Florent Breuil, Frédéric Paran, Jacques Bourgois, Florence Dujardin, Patrick Burlat, Marie-Agnès Girard, Nilou, JF, Gabrielle, et tous les membres passés et présents de l'EMSE. Grâce à vous, il m'est chaque jour agréable de venir travailler et c'est un luxe inestimable ! J'ai une pensée particulièrement émue et reconnaissante pour Djamel Mimoun, qui nous a quitté beaucoup trop tôt, et pour sa famille.
La relation d'encadrement de thèse et de master recherche est une rencontre humaine très enrichissante. Je suis donc tout particulièrement reconnaissante envers tous ceux et celles qui ont accepté de faire un bout de chemin avec moi dans ce contexte : Aurélien, Nathalie, Karen, Adrien, Ibtissam, Gaël, Jonathan, Valentine, Samuel, Sandrine et Anastasia, mais également Lionel, Anne, Anicia et Azzedine, suivis de plus loin. Merci également à tous les étudiants de master, élèves ICM et stagiaires qui ont travaillé avec moi sur différents projets : Folco, Audrey, Claire, Clément, Florian, Aurélien, Florine, Anne, Sandra, Rémi, Thomas, Bastien, Cyrille, et tous les autres...
Je ne peux oublier d'évoquer tous mes collègues, avec lesquels j'ai partagé plus que le bureau 307, mais surtout des questionnements de recherche, des préoccupations professionnelles et personnelles, de l'amitié et souvent des activités sportives. Un grand merci à Frédérique, Rémi, Emmanuel (et Guillaume, invité spécial), Marie, Maud, Loic, Yunhee et Sophie !
C'est moi qu'il faut blâmer pour les inévitables coquilles résiduelles. Ce mémoire a toutefois été relu et corrigé minutieusement par Nicole Cornut. Je ne saurai assez la remercier pour ce travail fastidieux ! Je la remercie également, avec Alain Cornut, pour leur confiance et leur soutien précieux. Merci aussi à mes parents pour leur confiance et leur soutien indéfectible dans les moments difficiles.
Merci du fond du cœur également à Pierre et Hélios, pour m'avoir laissé du temps pour réaliser ce mémoire. Merci Hélios pour la joie et l'énergie dont tu rayonnes ! Merci à Pierre pour nos discussions et ton regard critique qui ont été une source d'inspiration incontestable pour moi. Merci enfin à tous les ami/es de Saint-Etienne et d'ailleurs, à toutes celles et ceux qui sont engagé/es dans des luttes et passions diverses, tant locales que planétaires. Merci à toi, Fabien, pour ta patience et bienveillance extraordinaires. C'est grâce à vous tous que je garde espoir en un « monde meilleur », même si les sujets de préoccupations sont vastes. Je vous dois, entre autres, l'inspiration pour la conclusion et, par là-même, la finalisation de ce mémoire !

Curriculum vitae

Natacha Gondran
Institut Fayol/UMR 5600 EVS (Environnement Villes Sociétés)
Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne
158 cours Fauriel
42023 Saint-Etienne Cedex 2
Tel. : 04-77-42-01-75
Natacha.Gondran@emse.fr
Née le 30 janvier 1975
un enfant né en 2007
Anglais courant

MAITRE-ASSISTANT en management environnemental
DOCTEUR en Sciences et Techniques du Déchet
INGÉNIEUR INSA Génie Energétique et Environnement

Expérience professionnelle

Depuis janvier 2012 : Maître-assistant en management environnemental au sein de l'Institut Henri Fayol (équipe PIESO – Performances Industrielles et Environnementales des Systèmes et organisations) **de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne**

Janvier 2005 – Décembre 2011 : Maître-assistant en management environnemental au sein du centre SITE (Sciences, Informations et Technologies pour l'Environnement) **de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne**

Octobre 2001 à décembre 2004 : Ingénieur de recherche, contractuel, au centre SITE (Sciences, Information et technologies pour l'Environnement) de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne

Janvier - Mars 2002 : Séjour Post-doctoral au sein de l'Energy and Resources Group (Renewable Appropriate Energy Laboratory) de l'**Université de Californie de Berkeley, USA**

Octobre 1998 à octobre 2001 : Doctorante au centre SITE de l'EMSE, bourse de thèse financée par l'ADEME.

Titres et diplômes

Qualification : Qualifiée en section 62 : « section Energétique, génie des procédés », en 2002

2001 : Thèse de doctorat en Sciences et Techniques du déchet, École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne – INSA de Lyon (Mention très honorable)

1998 : DEA Sciences et Techniques du Déchet, Applications du microchromatographe MTI à l'analyse environnementale - *Laboratoire d'Analyse Environnementale et des Systèmes Industriels (LAEPSI) - INSA de Lyon et Université Polytechnique de Catalogne, Barcelone* **(Mention** Très Bien)

1998 : Diplôme d'ingénieur en Génie Énergétique de l'INSA de Lyon option "Génie des procédés de l'environnement" (Mention Félicitations du jury)

Activités de recherche

Recherche en Sciences et Génie de l'environnement sur la thématique de l'évaluation et la prise en compte des enjeux environnementaux dans une optique de transitions écologique et énergétique. Développement de méthodologies d'évaluation et recherche-intervention. Co-encadrement de thèses, encadrement de stages de master, recherche partenariale et sur des projets de recherche européens et nationaux.

Production scientifique

11 publications dans des revues internationales à comité de lecture, dont une à signature unique, et une rédigée en collaboration avec Daniel Kammen, professeur de l'université de Californie de Berkeley
8 Publications dans des revues nationales à comité de lecture, dont 3 rédigées en collaboration avec des enseignants-chercheurs algériens.
Co-auteur de deux livres, dont un livre de la collection Repères, éditions la Découverte
6 articles dans des ouvrages collectifs, dont trois articles à signature unique
24 communications dans des congrès internationaux
17 rapports scientifiques et techniques dans le cadre de recherche partenariale
1 référencement IDDN

Rayonnement scientifique

Evaluateur pour 5 revues anglophones et 5 revues francophones internationales à comité de lecture et pour la Collection "Repères" des Éditions La Découverte

Diverses missions d'expertise et nombreuses **conférences pour le grand public**.

Membre du **comité scientifique des rencontres CNRS jeunes « Sciences et citoyens »**

Activités d'enseignement

Enseignements en **écoles d'ingénieur** (cycle ICM (**Ingénieur Civil des Mines** de l'EMSE, et ISTP (Institut Supérieur Techniques et Productique, Institut de **formation continue et par alternance** partenaire de l'EMSE)

en **masters recherche** STADE (Systèmes Territoriaux Aide à la Décision Environnement) relevant de 5 établissements universitaires rhônalpins et géré par l'Ecole Normale Supérieure de Lyon et SEIU (Sciences de l'Environnement Industriel et Urbain), géré par l'INSA de Lyon, en partenariat avec 4 établissements rhônalpins

en **mastère spécialisé Efficacité énergétique dans le bâtiment**, porté par l'EMSE, l'ENISE et l'ENTPE

pour **l'école doctorale 488 Science Ingéniérie Santé** de Saint-Etienne.

Prologue : Un chemin de rencontres

« Il faut accepter d'être fini : d'être ici et nulle part ailleurs, de faire ça et pas autre chose, maintenant et non jamais ou toujours […], d'avoir cette vie seulement »

Lettre à D., André Gorz (Gorz 2006 (reed. 2009))

Comment devient-on plus ou moins sensible à diverses préoccupations ? Comment se fait-il que chacun va accorder un intérêt différent pour les questions historiques, géographiques, techniques, politiques, sociales, économiques, artistiques ou écologiques ? Comment développe-t-on, ou non, le goût pour la réflexion et les questionnements scientifiques ? Pourquoi choisit-on une carrière consacrée à l'enseignement et la recherche, dans le secteur public, tandis que d'autres n'envisagent trouver un épanouissement professionnel que dans le cadre plus compétitif d'un emploi dans le secteur privé ? Qu'est-ce qui fait qu'un individu devient plus ou moins sensible aux impacts de ses activités, professionnelles et personnelles, sur l'environnement et les ressources naturelles ? Ces questions, je me les suis fréquemment posées lors des différents choix que j'ai faits et qui m'ont amenée à être aujourd'hui enseignante-chercheuse au sein de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne. Je me les pose encore. Lorsque des étudiants viennent vers moi pour recevoir des conseils quant à leur orientation professionnelle, j'essaie de les aider à se poser également les bonnes questions pour identifier ce qui est important à leurs yeux et faire les bons choix en termes de carrière professionnelle. Comment savoir si l'on choisit la voie la plus adaptée à sa personnalité, celle où l'on saura le mieux exprimer ses talents et essayer de trouver des réponses à ses préoccupations et convictions (environnementales ou humaines, par exemple) ?

Notre trajectoire personnelle : histoire familiale, valeurs transmises par les parents et les proches (famille, ami/es) et diverses rencontres que l'on effectue au cours de sa vie, contribue à construire nos différentes représentations du monde, notre personnalité en tant qu'être humain, mais aussi en tant qu'enseignant-chercheur. Si l'on accepte que toute connaissance n'est valable que dans un cadre donné, il semble important, pour un chercheur, de définir les hypothèses de travail, valeurs et idéologies (au sens anglais du terme, c'est-à-dire le corps d'idées et de valeurs qui forme la façon de penser de chacun) qui orientent implicitement ses travaux. Cette formulation est particulièrement importante pour le chercheur interdisciplinaire. En effet, celui-ci, ne pouvant revendiquer une appartenance à une discipline préexistante, doit fréquemment justifier son approche en expliquant ce qu'il fait, comment et pourquoi il le fait. Ce contexte implicite au cadre de ses recherches ne vient cependant pas de nulle part. Il a été mis en place progressivement, au cours des différentes rencontres et expériences vécues. A l'heure de la rédaction de ce mémoire d'habilitation à diriger les recherches, j'ai ressenti le besoin de faire un bref retour en arrière (absolument pas exhaustif !) sur certaines rencontres et expériences qui ont probablement influencé le cadre implicite de mes recherches. L'exercice est peu académique et je m'en excuse par avance

auprès du lecteur qui pourra être gêné par ce prologue un peu personnel (mais il pourra alors se diriger directement à l'introduction du mémoire !).

Evidemment, le contexte familial joue un rôle important quant aux différentes valeurs qui nous guident. Mes parents ont toujours su m'offrir leur confiance indéfectible ainsi qu'un cadre suffisamment stable et serein pour me permettre d'envisager de suivre des "chemins de traverses" divers, tant dans ma vie personnelle que professionnelle, et de poursuivre des études longues. Ils ont également su accepter mes choix de vie avec une grande ouverture d'esprit. Je dois également beaucoup à ma tante Josie, qui m'a transmis, très tôt, sa passion pour la nature et les animaux, mais a également su partager avec moi sa curiosité et sa vision critique, mais jamais désespérée, de la vie et des êtres humains.

Le rôle des instituteurs et enseignants tout au long de l'apprentissage me paraît également essentiel. Je me souviens par exemple de M. Bessière, professeur de biologie, qui nous avait impliqués, élèves de première S, dans une étude visant à observer la qualité de l'eau de la Garonne et son évolution en nous faisant effectuer chaque semaine des prélèvements d'eau dans ce fleuve.

De même, les rencontres que j'ai pu faire en tant qu'étudiante ou jeune chercheur ont indubitablement influencé ma posture de recherche et mon positionnement pédagogique. Douze ans d'athlétisme de haut niveau m'ont permis de rencontrer de nombreuses personnalités aimant courir hors des sentiers battus. Les échanges avec Guy Duperray, mon dernier entraîneur, alors enseignant d'anglais critique sur les modèles français d'enseignement, m'ont fait prendre conscience de la nécessité de remettre en cause des méthodes d'enseignement qui m'avaient pourtant convenu en tant qu'élève. Dix ans d'aventures parfois un peu extrêmes sportivement et géographiquement, partagées avec Geoffrey, au regard critique sur les méfaits de la société contemporaine, m'ont, entre autres, ouvert les yeux sur les limites des notions de "progrès" et de "développement". J'ai également été marquée par les nombreux échanges que j'ai pu avoir avec Jean-Jacques Behm, entraîneur national de 400 mètres haies, ancien athlète de haut niveau ayant participé aux Jeux Olympiques de Tokyo, et instituteur de campagne qui, dès les années 68 a expérimenté, dans ses classes et sur les stades, des méthodes pédagogiques innovantes, que l'on qualifierait aujourd'hui de "constructivistes", basées sur la responsabilisation de ses élèves et leur confrontation au monde "réel" (élèves de primaire "lâchés" librement dans les bois ou les villages, voyages d'études organisés par les enfants eux-mêmes, par exemple). Nos nombreuses conversations à ce sujet et la visite des classes de "JJ" m'ont ouvert les yeux quant à l'intérêt d'expérimenter des méthodes pédagogiques laissant plus d'autonomie aux élèves. Mon intérêt pour la pédagogie, à la fois en tant que praticienne mais également en termes de recherche, doit sûrement beaucoup à ces échanges.

C'est aussi, entre autres, pour pouvoir continuer à pratiquer l'athlétisme que je suis entrée à l'INSA de Lyon. En section sport-études, d'abord, puis en Génie Energétique et Environnement. Dans ce cadre, j'ai effectué un stage, en 1996, au Centre Permanent d'Initiatives pour l'Environnement de Manosque. Mon tuteur de stage, Dominique Raulin, était un des pionniers, en France, des réflexions sur la maîtrise de l'énergie. Il m'a formée aux diagnostics énergétiques des communes et bâtiments communaux, bien avant que ces démarches ne se généralisent. C'est grâce à lui que j'ai pu intégrer l'association Negawatt,

dont la démarche a, par la suite, influencé significativement mes enseignements et recherches.

Pendant mon cycle d'études d'ingénieur à l'INSA, j'ai également eu l'opportunité d'effectuer un séjour d'un an en Angleterre. Cette année universitaire, au sein du Chemical Engineering Department de l'Université de Sheffield, fut ma première véritable expérience à l'international, permettant d'expérimenter le modèle d'enseignement universitaire anglais, bien plus basé sur l'autonomie de l'étudiant et plus en lien avec le monde concret et technique que le système français. Cette année m'a également apporté une ouverture interculturelle grâce aux nombreux échanges avec des étudiants du monde entier. Dans la foulée, j'ai travaillé pendant deux mois au sein du Council for the Central Laboratory of the Research Councils (Daresbury Laboratory, Warrington). Cette première expérience en recherche, dans un laboratoire de CFD (dynamique des fluides numériques), à la pointe de la modélisation informatique (travail sur des ordinateurs en parallèle) m'a conjointement donné goût à la recherche, et fait prendre conscience que, en dépit de mon attrait pour la thermodynamique et ses équations, je n'avais pas de vocation particulière pour la simulation numérique et sa forte composante informatique !

De retour en France l'année suivante, j'ai choisi, sur les conseils de mon ami Luc Michard, d'effectuer le DEA "Sciences et techniques du déchet", en même temps que la dernière année de formation ingénieur. Les enseignements proposés par le département Génie Energétique et Environnement de l'INSA de Lyon étaient fortement influencés par un de ses fondateurs, le professeur Alain Navarro, qui, dès 1975, avait su orienter ses recherches et enseignements vers les thématiques liées à la maîtrise des pressions liées aux activités humaines, et fut un des pionniers des sciences et techniques du déchet. Brillant orateur, les étudiants allaient à ses cours « *comme on va au théâtre* », mais la complexité des enjeux et systèmes qu'il nous décrivait nous laissait perplexes quant aux perspectives d'actions que l'on pouvait avoir pour répondre aux problèmes environnementaux évoqués. Ses cours montraient toutefois clairement que la technique ne pourrait résoudre seule les problèmes environnementaux… Constat difficile à accepter pour les jeunes étudiants ingénieurs que nous étions, mais cela m'a donné l'envie de me former davantage à d'autres domaines que les disciplines scientifiques et techniques. Cette volonté d'interdisciplinarité était partagée par Christian Brodhag, rencontré fortuitement au détour d'un couloir du LAEPSI (Laboratoire d'Analyse Environnementale et des Systèmes Industriels) où j'effectuais mon stage de DEA alors même qu'il recherchait un doctorant pour compléter le dossier de demande de bourse de thèse ADEME à déposer… le lendemain de notre rencontre !

C'est également à l'occasion de ce stage de DEA, encadré par le regretté Jean Carré, que j'ai commencé à travailler sur le thème de l'évaluation environnementale. Il s'agissait alors de la composante physico-chimique de ce thème : l'analyse des composés organiques volatils dans l'atmosphère. Ce stage, effectué en partie dans le Département de Projets en ingénierie de l'Université polytechnique de Catalogne, à Barcelone, m'a permis une première expérience de travail sur un projet européen (COPERNICUS). L'objectif était de développer une méthodologie permettant d'effectuer des analyses atmosphériques in-situ en usine, sur le biogaz issu de centres d'enfouissements techniques français et espagnols ainsi qu'en milieu urbain.

L'ADEME a finalement accepté de financer le projet de thèse évoqué plus haut, même si celui-ci se situait à l'intersection entre les sciences dites pour l'ingénieur (spécialité de l'école doctorale dans laquelle j'étais inscrite) et l'économie / gestion (cellule de l'ADEME, dirigée par Valérie Martin, dont relevait mon travail). Les séminaires doctorants organisés par Valérie Martin m'ont ainsi permis de confronter mes travaux aux doctorants en économie travaillant sur les autres thèses financées par l'ADEME, et en particulier les doctorants du Centre d'Economie et d'Ethique pour l'Environnement et le Développement de l'Université de Versailles St Quentin-en-Yvelines. Ces séminaires, très formateurs, m'ont en particulier permis de bien formaliser mes hypothèses de travail.

J'ai eu la chance de remporter, en 2000, le Prix des 11èmes rencontres régionales de la recherche dont le lauréat bénéficiait d'une bourse, proposée par la région Rhône-Alpes, pour partir 3 mois dans le laboratoire étranger de son choix. J'ai ainsi choisi d'effectuer ce séjour post-doctoral au sein du prestigieux "Energy and Resources Group", de l'Université de Californie à Berkeley, de janvier à mars 2002. ERG est un groupe scientifique résolument interdisciplinaire qui se donne pour mission « *d'effectuer de la recherche et de l'enseignement pour un environnement soutenable et une société juste* »[1]. Cela m'a donné l'opportunité d'échanger avec des professeurs tels que Daniel Kammen, Richard Noorgard (alors Président de l' « *International Society for Ecological Economics* »). La légitimité scientifique de ces chercheurs n'est pas à démontrer. D. Kammen a par exemple, à son actif, plus de 220 publications dans des revues internationales à comité de lecture, parmi lesquelles de nombreuses publications dans des revues de renom telles que *Science* ou *Nature.* Cela ne les empêche pas de revendiquer une position d'« *activist scholar* », pouvant se traduire par chercheur engagé. Afin d'appuyer cette position engagée sur le positionnement rigoureux requis par leur niveau d'excellence scientifique, professeurs et étudiants de l'Energy Resources Group échangent chaque semaine, au cours de séminaires et colloques, sur leurs méthodes et postulats. Passer trois mois dans un tel contexte fut donc particulièrement stimulant intellectuellement et m'a permis de rencontrer de nombreux chercheurs passionnés souhaitant « *développer, transmettre et appliquer des connaissances visant à permettre un avenir dans lequel les besoins matériels de l'Homme seraient équitablement et durablement satisfaits dans un environnement sain* »[2]. Cela m'a permis de formaliser une réflexion sur l'enseignement interdisciplinaire, qui s'est concrétisée par la publication d'un article dans la revue Didaskalia (Gondran, Kammen 2004). Les discussions menées avec ces chercheurs, passionnés et engagés, m'ont amenée à prendre la décision de m'engager dans la voie de l'enseignement et la recherche.

De retour en France, mes activités de recherche se sont d'abord orientées, de 2002 à 2004, autour d'un projet européen (ESPLANADE), financé par le programme "Promotion of Innovation and encouragement of SME participation" du 5ème programme cadre de l'Union européenne. Son objectif était d'aider des PME, du secteur des énergies renouvelables en particulier, à expérimenter des méthodes de planification stratégique de scénarios (partenaires anglais, italiens, espagnols). Si ce projet m'a montré les difficultés qu'il peut y

[1] http://erg.berkeley.edu/

[2] Mission que s'est donnée l'Energy and resources Group : http://erg.berkeley.edu/info/about.shtml

avoir à faire travailler collectivement une équipe internationale, il m'a permis de rester au sein du centre SITE (Sciences, Informations et Technologies pour l'Environnement), fondé et dirigé par Didier Graillot. Ce centre se donnait pour vocation de travailler à l'interface entre l'entreprise et son environnement. Il s'agissait d'une équipe résolument interdisciplinaire, réunissant des chercheurs issus de nombreuses sections universitaires (Energétique et Génie des procédés, Géographie, Sciences de l'information, etc.) mais unis autour de deux missions complémentaires : la formation et la recherche appliquée dans le domaine de l'environnement. La première mission consistait à former des ingénieurs et des docteurs aux métiers de l'environnement en milieu industriel et dans les collectivités locales. Les travaux de recherche visaient à concevoir, élaborer et développer des méthodes et outils pour produire, traiter et diffuser l'information à destination des acteurs industriels et publics. Ces deux missions convergeaient vers la mise en œuvre de l'idée du développement durable, notamment par une meilleure gestion de l'environnement et des risques.

Ainsi, je me suis rapidement impliquée dans l'enseignement. Le début des années 2000 correspond à la généralisation, dans les écoles d'ingénieurs, des enseignements sur le droit de l'environnement et le management environnemental. L'attrait pour ces sujets émergeait donc au sein du cursus des Ingénieurs Civils des Mines, mais aussi en formations continue et par alternance, au sein de l'ISTP (Institut Supérieur des Techniques de la Productique, école d'ingénieur sous statut salarié) et de l'IDECQ (formation sous statut salarié au niveau licence). J'ai donc contribué à créer une offre pédagogique sur ces sujets au sein de ces établissements en créant moi-même de nouveaux cours, mais également en aidant les responsables de ces formations à identifier de nouveaux intervenants. Très vite, nous nous sommes aperçus que les méthodes traditionnelles d'enseignement (cours magistraux et TD) n'étaient guère efficaces pour permettre aux étudiants d'appréhender les différents enjeux liés à la prise en compte de l'environnement. Enjeux dont l'existence même remet en cause les modèles disciplinaires classiques de formation et d'organisation de l'enseignement supérieur. Depuis de nombreuses années, et notamment sous l'impulsion du professeur Philippe Davoine, reprise par Didier Graillot, le centre SITE développait des réflexions et innovations pédagogiques pour sensibiliser et former les étudiants aux questions environnementales (gestion des déchets, hydrogéologie, etc.) à partir de simulateurs pédagogiques, d'études de cas, apprentissage par projet, jeux de rôle, mise en situation professionnelle. Nous avons étendu ces réflexions à la question du développement durable. Différentes publications m'ont permis de formaliser les questionnements posés par ce sujet transversal [(Gondran, Kammen 2004), (Gondran, Breuil 2005), (Lourdel 2005), (Lourdel et al. 2005), (Lourdel et al. 2006), (Lourdel et al. 2007)].

A partir de 2002, les activités de recherche sur le développement durable ont réellement commencé au sein du centre SITE, à travers plusieurs projets contractuels et plusieurs thèses initiées sous la direction de Christian Brodhag. En particulier, Aurélien Boutaud avait choisi SITE comme laboratoire d'accueil pour sa thèse, co-financée par le Grand Lyon, Rhônalpénergie Environnement et l'ADEME. Son sujet portait sur l'évaluation du développement durable pour le Grand Lyon. Question intrinsèquement liée à celle de la définition du développement durable et à ses différentes appropriations, et qui faisait écho à des préoccupations personnelles fortes pour moi. J'ai ainsi eu la chance de pouvoir suivre

(bien plus qu'"encadrer" !) les travaux fertiles d'Aurélien qui, suite à plusieurs expériences professionnelles dans le domaine, a réellement su profiter de son temps de thèse pour mener une réflexion de fond sur le sujet, appuyée sur d'importantes recherches bibliographiques. Sa culture de géographe était complémentaire de ma culture d'ingénieur. Nous avons ainsi eu d'innombrables échanges qui nous ont aidés à mettre au clair nos idées respectives et à construire notre propre vision, relativement critique, d'un domaine complexe et controversé. Après sa thèse, Aurélien a créé sa propre entreprise d'enseignement, conseil et recherche. Outre la naissance d'une solide amitié, nos nombreux échanges se sont formalisés par la co-écriture de plusieurs articles (Boutaud, Gondran & Brodhag 2004), (Boutaud, Gondran & Brodhag 2006), d'un ouvrage commun (Boutaud, Gondran 2009) et la réalisation de nombreux projets de recherche en commun. Nous continuons ainsi à travailler régulièrement ensemble, en particulier autour du thème de l'empreinte écologique et nos échanges restent pour moi une source inépuisable de stimulation intellectuelle.

Dans la foulée de la thèse d'Aurélien Boutaud, j'ai eu la chance de bénéficier de la confiance de Christian Brodhag pour co-encadrer avec lui plusieurs doctorants : Nathalie Lourdel (Lourdel 2005), Karen Delchet (Delchet 2006) (thèse CIFRE effectuée au sein de l'AFNOR), Adrien Ponrouch (Ponrouch 2008) (thèse ADEME effectuée au Ministère de l'Ecologie et du développement Durable), Gaël Guilloux (Guilloux 2009) (thèse ADEME effectuée au Centre du design Rhône-Alpes), puis, plus indirectement, Azzedine Tahiri (Tahiri 2013) (salarié au sein d'une entreprise).

Dès 2003, un directeur départemental de l'équipement relativement atypique avait été nommé dans la Loire. Olivier Frérot se donnait pour objectif, d'une part, de rapprocher acteurs de terrain et monde de la recherche en initiant divers projets locaux de recherche-action sur des opérations d'aménagement ayant lieu dans la Loire et, d'autre part, d'intégrer des dimensions environnementales, artistiques et design dans des projets d'aménagement qui ne prennent traditionnellement en compte que marginalement ces dimensions. Sur son initiative, de nombreux projets furent ainsi lancés entre le centre SITE et la DDE 42. Parmi ceux-ci, le premier projet dont j'ai été responsable entièrement est la mise en place d'un système de management environnemental sur un projet routier de mise à deux fois deux voies de la RN7-RN82. Ce projet posait plusieurs questions tout autant conceptuelles que concrètes : comment adapter une méthode créée à destination d'entreprises privées vers un service de l'Etat décentralisé (et donc avec ses multiples spécificités décisionnelles et organisationnelles : turn-over important de ses cadres, forte hiérarchie, complexités administratives, etc.), et comment utiliser des méthodes conçues pour le management quotidien d'un site industriel à un projet qui s'étend sur une dizaine d'années ? D'autre part, cela nous a donné l'opportunité de travailler sur un domaine à l'époque peu pris en compte : les impacts environnementaux des chantiers routiers (et non des infrastructures une fois construites). Ainsi, ce projet a permis la réalisation de 5 stages (de deuxième année d'écoles d'ingénieur à des stages de master), et de trois années de recherche - intervention visant à intégrer au fonctionnement du service travaux et infrastructures de la DDE 42 des procédures visant à mieux prendre en compte les impacts environnementaux des chantiers dont le service était maître d'œuvre . Au niveau de la recherche, ce projet a permis l'observation des freins et leviers au changement et à la prise en compte de l'environnement

au sein de l'administration. Cela a été formalisé par la publication de l'article (Gondran, Fontaine 2006).

Suite à la nomination, en juillet 2004, de Christian Brodhag en tant que délégué interministériel au développement durable et donc à son départ du centre SITE, j'ai dû assurer la réalisation de plusieurs des projets qu'il avait initiés autour de l'expérimentation des pratiques de développement durable auprès d'acteurs territoriaux: PME (expérimentations en Rhône-Alpes et dans la Loire du référentiel SD 21000, précurseur de l'ISO 26000) et collectivités locales (Agenda 21 sur la zone d'activité de Molina la Chazotte pour Saint-Etienne Métropole) et projet MEDD / PUCA sur les marges urbaines. Cet afflux de projets à gérer, dont la plupart en contacts directs avec des acteurs industriels ou publics ayant des attentes de résultats concrets, a été, il faut l'avouer, difficile à gérer. En particulier, le nombre trop important de projets à réaliser en même temps ne m'a pas permis de prendre le recul souhaitable et de valoriser chaque projet par une publication comme j'aurais pu le souhaiter. Cependant, ces projets m'ont donné l'opportunité de confronter au terrain les idées et théories développés dans le cadre des réflexions sur le développement durable et de prendre la mesure des freins et difficultés à la mise en place des changements qui seraient nécessaires pour tendre vers une meilleure prise en compte des questions sociales et environnementales. Deux principales limites se sont alors posées à moi, m'amenant alors à prendre du recul par rapport à ces expériences : une vision normative du développement durable et la difficulté, pour un chercheur placé dans une position de "promoteur" de cette idée, de l'interroger et la remettre en question. Les projets avaient en effet été conçus dans une approche très normative. Ils visaient plus à *promouvoir* la notion de développement durable qu'à l'interroger et la remettre en question. Pourtant, le fait même d'essayer de mettre en œuvre les principes proposés par cette notion soulevait régulièrement des dilemmes venant remettre en question l'idée de développement durable. Cependant, étant placé dans une posture prescriptive, il était difficile d'approfondir ces limites afin de remettre en cause la démarche proposée. Si je partageais alors l'objectif final de ces projets, c'est-à-dire mettre en place des changements visant à permettre aux acteurs du territoire de mieux prendre en compte les enjeux écologiques et sociaux, ces expériences m'ont amenée à douter de la démarche à mettre en place. Faut-il a priori définir des comportements d'acteurs qui seraient "durables" et dont il faille encourager la mise en place (approche normative dans laquelle étaient positionnés les projets de type "SD 21000", par exemple) ou ne faudrait-il pas plutôt amener les acteurs à s'interroger eux-mêmes sur les impacts de leurs comportements et imaginer eux-mêmes les changements qu'ils pourraient mettre en place pour inventer des modes de vie plus cohérents avec les enjeux socio-écologiques ?

Parallèlement à ces projets, j'ai également participé à un projet européen Tempus Meda (2003-2005), avec des partenaires géographes portugais, espagnols, italiens et syriens) et dont la coordinatrice, Michèle Masson-Vincent (Université Joseph Fourier de Grenoble), ne laisse personne indifférent de par son dynamisme et son talent pour marcher hors des sentiers battus ! Ce projet a abouti à la mise en place de 9 modules d'enseignement en ligne sur le thème des « *Méthodologies de formation à l'aménagement des territoires : cas des villes méditerranéenne*s ». Dans ce cadre, j'ai développé, et je suis aujourd'hui responsable pédagogique de 2 modules en ligne (Gestion de l'environnement et développement durable

et Jeu de rôles autour du développement durable et aménagement du territoire) qui sont aujourd'hui des modules d'enseignement à part entière au sein du Master recherche STADE (Systèmes Territoriaux, Aide à la Décision, Environnement).

En 2005, j'ai rencontré Pierre Cornut, économiste spécialiste des négociations internationales sur le climat. Nous étions alors tous deux membres individuels, du Réseau Action Climat France, association nationale spécialisée sur le thème des changements climatiques qui regroupe une vingtaine d'organisations nationales de protection de l'environnement, d'usagers des transports, de promotion d'alternatives énergétiques et de solidarité internationale, ainsi qu'une trentaine de membres individuels. La formation et la vision politique de Pierre ainsi que son regard critique m'ont, entre autres, aidée à mieux cerner les enjeux politiques et économiques qui rendent difficiles une réelle prise en compte de l'environnement et de l'équité sociale dans les conditions actuelles de fonctionnement de notre société. Nos différentes discussions, souvent houleuses, mais toujours passionnées, m'ont également permis d'avancer, même si ce fut parfois difficile, sur le chemin de la connaissance de soi, des autres et de la vie.

En 2007, notre fils Hélios est né, impliquant alors des changements organisationnels dans ma vie professionnelle (passage à temps partiel), mais aussi une "nouvelle" vision du monde liée à la responsabilité de parent. Afin d'être plus en accord avec mes convictions et inspirations personnelles, j'ai réorienté mes activités de recherche vers des projets moins basés sur des postures normatives, et je me suis efforcée d'accorder plus de temps aux activités de publications. Je me suis ainsi concentrée davantage sur la question des indicateurs de durabilité et, plus précisément, de l'évaluation environnementale. En effet, comment prendre en compte dans les décisions d'autres critères si la dimension économique est la seule qui fasse l'objet d'une évaluation juridique. Par exemple, une entreprise d'insertion qui créerait de la valeur sociale par l'emploi et la formation de nombreux salariés, qui aurait un impact positif sur l'environnement (valorisation des déchets, par exemple) et sur un territoire, devrait malgré tout mettre la clé sous la porte si, chaque année, elle n'affiche pas un bilan comptable positif… La question des indicateurs me semble ainsi au cœur des réflexions sur la durabilité de nos modes de développement. Cette période de recul dans les projets de recherche-intervention m'a également permis de consacrer un peu de temps au projet de co-écriture d'un livre sur l'empreinte écologique qui avait été initié par Aurélien Boutaud (Boutaud, Gondran 2009). Cet ouvrage est aujourd'hui considéré comme une référence francophone sur le sujet. Suite à cette publication, nous avons ainsi été sollicités comme experts pour plusieurs études nationales sur l'empreinte écologique (audition devant le Conseil Economique Social et Environnemental, participation au comité de pilotage d'une étude effectuée par le service de l'observation de l'environnement et des statistiques) ainsi que pour plusieurs projets sur le thème de l'empreinte écologique (Parc national de la Vanoise, Association des Régions Françaises, par exemple).

En 2011, en dépit d'une évaluation convenable par l'AERES en 2010, le centre SITE dans lequel s'inscrivaient mes recherches depuis le début de ma thèse a été dissout par la direction de l'EMSE. Une partie des enseignants chercheurs de SITE a été intégrée dans l'Institut Henri Fayol dont l'objet de recherche est la performance globale des entreprises. Une autre partie des chercheurs, dont l'objet de recherche était lié à l'hydrogéologie, a été rattachée au centre

SPIN (Sciences des Procédés Industriels et Naturels). Avec Valérie Laforest, Hervé Vaillant, Eric Piatyszek et Alicja Tardy, quatre collègues travaillant sur l'évaluation environnementale et les risques, nous nous sommes alors rapprochés de collègues, relevant de la discipline Génie Industriel, pour créer l'équipe PIESO (Performances Industrielles et Environnementales des Systèmes et des Organisations). Cette équipe, d'abord dirigée par Patrick Burlat puis par Valérie Laforest, travaille, entre autres, sur les thèmes de la logistique urbaine et de l'économie de fonctionnalité. Notre objectif commun est d'étudier les transformations des organisations vers des modes de production et de consommation plus responsables. Dans ce contexte, nous apportons la dimension environnementale pour l'évaluation de ces transformations en termes de durabilité écologique.

La rédaction de ce mémoire d'HDR est donc intervenue dans ce contexte de réorganisation des activités de recherche. Le centre SITE constituait un centre de recherche interdisciplinaire, rassemblant des chercheurs en hydrogéologie, géomatique, chimie de l'environnement, et sciences dites pour l'ingénieur, mais l'ensemble des chercheurs se réclamait alors des sciences et génie de l'environnement. Nous partagions alors, implicitement, la plupart de nos postulats et positionnements de recherche. L'Institut Henri Fayol, imposé par une volonté de la direction de l'EMSE, rassemble des chercheurs de disciplines encore plus diverses (informatique, mathématiques, gestion, économie, génie industriel et sciences pour l'environnement), autour d'un objet moins bien approprié par les chercheurs. Au niveau plus restreint de l'équipe PIESO (Performances Industrielles et Environnementales des Systèmes et des Organisations), l'objet commun est plus rassembleur, mais la collaboration avec des collègues de génie industriel soulève parfois des malentendus et des mécompréhensions, souvent liés à des postulats et des positionnements de recherche différents entre ces deux disciplines. J'ai donc profité de la rédaction de ce mémoire pour me repencher sur l'histoire et les bases des sciences de l'évaluation environnementale. Il ne s'agit nullement de prétendre à un travail d'épistémologie ou d'histoire des sciences, mais au contraire, de chercher à s'approprier personnellement et de mieux comprendre les fondements théoriques dans lesquels je positionne mes travaux. J'ai donc choisi de rédiger un nouveau mémoire d'habilitation à diriger les recherches plutôt que de présenter une compilation d'articles scientifiques. Ce choix, bien que se révélant relativement chronophage, avait pour objectif de faire un point dans ma carrière scientifique, de revenir aux bases pour mieux « *connaître mon héritage* », comme le conseillait R. Nordgaard à ses élèves de l'UC Berkeley, afin de contribuer à le transmettre à mon tour, dans l'optique de direction de travaux de recherches à laquelle se destine ce diplôme.

1. Introduction : évaluation et représentation des enjeux environnementaux

« *Il faut que l'on se partage*
Tant de nature à soigner
Il faudrait que l'on ménage
La Terre et ses subtilités »

Les Ogres de Barback, *A vous la Terre*, 2013

La préoccupation centrale guidant mes travaux de recherches est le postulat que les impacts sur l'environnement de nos modes de production et de consommation viennent mettre en péril nos sociétés elles-mêmes. L'environnement est ici pris dans son acception la plus large, incluant les ressources et milieux naturels, mais aussi les êtres qui y vivent, y compris les humains eux-mêmes. De nombreux travaux scientifiques viennent aujourd'hui étayer ce postulat : GIEC (Parry et al. 2007), (GIEC 2013), Millenium assesment (Millennium Ecosystem Assessment 2005), (Barnosky et al. 2011), pour ne citer qu'eux. Ce postulat peut être considéré comme une hypothèse directrice pour mes travaux de recherche qui ne visent pas à tester sa validité. Dans ce contexte, nous nous positionnons dans le cadre d'un questionnement visant à identifier les changements qui seraient nécessaires pour réduire ces impacts sur l'environnement ainsi que les conditions de mise en œuvre de ces changements. Notons bien cependant qu'il ne s'agit là que d'un *cadre* de questionnement : il est évident qu'un chercheur seul ne peut avoir l'ambition de répondre à ces vastes et complexes questions ! En particulier, des changements sont nécessaires à de nombreuses échelles : du niveau mondial ou "macro" (à l'échelle des Nations, voire du Monde, relevant du domaine de la macro-économie, par exemple) jusqu'au niveau local ou "micro" (échelle des collectivités locales, des organisations, voire des individus). Cela implique donc de nombreuses disciplines (macro-économie, géographie, sociologie, gestion, sciences dites pour l'ingénieur, etc.) et de nombreux domaines (modes de production, modes de consommation, mobilité, bâtiments, modes de vie, agriculture, etc.).

Au sein de ce contexte très large, une autre ligne directrice de mes travaux de recherche est dictée par le cadre des Ecoles des Mines dans lequel s'inscrivent ces travaux : d'une part, un ancrage important dans le territoire d'implantation de l'Ecole (la région Rhône-Alpes) et d'autre part une recherche connectée avec les problématiques concrètes des acteurs territoriaux.

Ainsi, mes travaux se positionnent dans une démarche de recherche-intervention, visant à aider les acteurs territoriaux à prendre conscience des impacts de leurs activités sur l'environnement afin de les aider à les identifier et les quantifier et, in fine, les encourager à les réduire.

L'objet d'étude commun à l'ensemble de mes recherches est l'organisation. Organisation qui peut être de droit public, à vocation territoriale (collectivités locales, services déconcentrés de l'Etat, Parc national) ou de droit privé (entreprise). Pour observer ces organisations, deux approches complémentaires ont été principalement développées selon les travaux de recherche : approche "site" ou organisation dans son ensemble [par exemple (Delchet 2006), (Ponrouch 2008), (Moreau 2012)] ou approche "projet" : projet d'aménagement [(EL BOUAZZAOUI 2008), (Le Féon et al. 2012)], de développement de produit (Guilloux 2009) ou de rénovation de bâtiments (Villot 2012)). Ces objets sont liés. Le centre SITE (Science, Information et Technologie pour l'Environnement) où se sont déroulées la majorité de ces thèses co-encadrées, avait en effet pour objet de recherches l'interface entre les entreprises et leur territoire. L'entreprise est ainsi vue comme un acteur du territoire. Acteur économique, parfois politique, mais aussi physique au sens où elle prélève dans les milieux des ressources naturelles, et y rejette des polluants.

Ainsi, nous faisons l'hypothèse que le rôle de l'entreprise, que son activité soit industrielle, de service ou plus directement liée à l'aménagement (travaux publics, bâtiment), a un impact sur le territoire tant dans sa dimension identitaire, matérielle (en particulier en tant que milieu et "fournisseur" de ressources naturelles), que fonctionnelle (en tant qu'acteur) (Laganier, Villalba & Zuindeau 2002), et que ces impacts méritent d'être étudiés pour interroger la durabilité de nos modes de consommation et de production.

Réciproquement, le territoire est principalement observé, dans nos travaux, sous l'angle des collectivités locales ou administrations qui le gèrent et l'aménagent. Nous ne faisons pas l'hypothèse que ces organisations se comportent de la même façon que les entreprises privées. Cependant, nous faisons l'hypothèse que certaines méthodologies d'analyse ou d'évaluation des enjeux sociaux et environnementaux, développées en premier lieu pour des entreprises peuvent s'appliquer, sous réserves de modifications et de conditions d'utilisation à préciser, aux organisations publiques territoriales telles que les collectivités locales ou les administrations.

La notion de développement durable apparaît centrale dans nos travaux. La plupart des premiers projets sur lesquels nous avons travaillé ont été initialement impulsés par Christian Brodhag, ardent promoteur, en France, de cette notion. Nous sommes bien conscients des ambiguïtés liées à son appropriation et des critiques pouvant être adressées à cette idée « *drapée dans une rhétorique vertueuse et salvatrice* », mais qui « *n'en consacre pas moins l'économisation du monde, à la base des problèmes socioécologiques actuels* » (Sauvé 2011). Nous retiendrons principalement de cette notion deux éléments qui sont a priori consensuels : le principe de solidarité intergénérationnelle et celui de transversalité (Boutaud, Gondran 2009). Et nous l'utiliserons comme élément potentiellement "déclencheur de changement" pour certains acteurs et clé d'entrée pour « *l'espoir d'un changement vers une meilleure prise en compte des enjeux socio-écologiques* » (Sauvé 2011). Dans la mesure du possible, nous essaierons cependant d'éviter, tout au long de ce manuscrit, l'utilisation de ce terme souvent jugé comme trop englobant (« *qui trop embrasse mal étreint* ») afin de gagner en précision dans nos propos.

Dans ce contexte scientifique, deux activités de recherche se sont déroulées en complémentarité : montage et réalisation de projets de recherche partenariaux (soit effectués

pour le compte de partenaires publics ou privés, soit financés dans le cadre de programmes de recherche nationaux ou européens) et encadrement de travaux de recherche (stages de master recherche et doctorants). Si, la plupart du temps, les travaux des étudiants de master recherche étaient directement liés à des projets de recherche, les travaux de thèse peuvent :

- soit être financés par des partenaires extérieurs (thèses de A. Boutaud, G. Guilloux cofinancées par l'ADEME et S. Le Féon, financée par EDF, par exemple) et/ou être directement liés à des projets partenariaux (thèse de K. Delchet en partenariat avec CAP-AFNOR, thèse de S. Dumoulinneuf en partenariat avec CASINO, par exemple),
- soit donner lieu à un contrat de recherche au cours de la thèse, afin de permettre au doctorant d'avoir un terrain d'études : par exemple, partenariat avec l'entreprise Casino IT dans le cadre de la thèse de V. Moreau, partenariat avec l'entreprise sociale de l'habitat Cité Nouvelle dans le cadre de la thèse de J. Villot.
- soit être déconnectés de tout projet partenarial afin de laisser une plus grande liberté au doctorant et permettre de mener une réflexion de fond ou un développement méthodologique (thèses de N. Lourdel et I. El Bouazzaoui, par exemple).

Globalement, nos travaux de recherche se positionnent autour de trois axes complémentaires de recherche : **expérimenter** des pratiques dans une optique de meilleure prise en compte, par les acteurs territoriaux, des enjeux sociaux et environnementaux ; développer des méthodologies permettant d'**évaluer** les pressions environnementales et le niveau de prise en compte des enjeux sociaux et écologiques et **transmettre** les enjeux et méthodes pour tendre vers une meilleure prise en compte de l'environnement (pédagogie du développement durable) :

- Les travaux entrant dans le cadre de l'**Expérimentation de pratiques dans une optique de prise en compte des enjeux sociaux et écologiques**, ont été réalisés en coopération étroite avec des acteurs de terrain, dans le cadre de démarches de recherche-intervention. Les principaux projets menés sur ce thème visent à accompagner différents types d'acteurs territoriaux, souvent sur leur propre initiative, dans des démarches visant à mieux prendre en compte l'environnement (mise en place d'un système de management environnemental pour un chantier routier avec le service Transports et Infrastructures de la DDE 42, par exemple), à mettre en place des démarches de responsabilité sociétale (diagnostics et accompagnements de PME vers une démarche de responsabilité sociétale, dans le cadre de l'expérimentation du guide SD 21000 réalisé en partenariat avec l'AFNOR), ou la promotion de l'efficacité énergétique (divers projets avec l'ANAH de la Loire, la Société d'Equipement et de Développement de la Loire et une Entreprise sociale de l'habitat) ou, plus largement, à mieux cerner les enjeux liés au développement durable (différents partenariats avec Saint-Etienne Métropole dans le cadre de la mise en place de leur agenda 21 puis du Plan Climat Energie Territoire). Cet axe a donné lieu en particulier aux publications (Brodhag, Gondran & Delchet 2004), (Gondran, Fontaine 2006) et (Delchet, Gondran & Brodhag 2008).

- Les travaux visant le **développement de méthodologies d'évaluation des pressions environnementales et du développement durable** ont permis de développer des méthodologies d'évaluation basées sur les méthodes de l'empreinte écologique, l'ACV ou l'analyse multicritère pour des entreprises (CASINO IT, SAUR) ou des établissements publics (EPASE, Parc National de la Vanoise). Il a conduit à un référencement IDDN auprès de l'Agence de Protection des Programmes et a donné lieu par exemple aux publications (Gondran et al. 2000), (Boutaud, Gondran & Brodhag 2006), (Boubaker, Djebara & Gondran 2008), (Gondran, Boutaud 2008),(Boutaud, Gondran 2009), (Boubaker, Djebara & Gondran 2011), (Villot, Gondran & Laforest 2011), (Gondran 2012),.

- La question de la p**édagogie du développement durable** m'a interrogée assez rapidement en tant qu'enseignante. En effet, les cours portant sur la prise en compte de l'environnement par les entreprises et le développement durable, dont j'ai été chargée en tant que jeune enseignante-chercheur, était nouvellement introduits dans les cursus académiques. Je devais donc, d'une part, créer le contenu de ces nouveaux cours, mais également définir leur forme pédagogique. En effet, ces thèmes posent des questions morales et éthiques qui ne peuvent être occultées et face auxquelles les approches pédagogiques classiques me semblaient inadaptées aux apprentissages en termes de "savoirs êtres" et de "savoirs-faires" que je souhaitais transmettre. Probablement pour ces mêmes raisons, le centre de recherche SITE était déjà très en avance sur le thème des innovations et simulateurs pédagogiques. En effet, des travaux étaient menés sur ces sujets depuis les années 80 par le Professeur Philippe Davoine et, dans sa continuité, par Didier Graillot et Bruno Debray. Ce thème de recherche – intervention a principalement pour objectif de permettre une distanciation sur nos pratiques et innovations pédagogiques afin d'améliorer des pratiques pédagogiques qui doivent sans cesse évoluer du fait de sujets aux contours mouvants. Concrètement, il a en particulier été initié par une réflexion sur l'interdisciplinarité, tant en enseignement qu'en recherche lors de mon séjour post-doctoral de trois mois au sein du centre interdisciplinaire Energy and Resources Group de l'Université de Californie de Berkeley. Il a ensuite été approfondi grâce puis au co-encadrement de la thèse de doctorat de Nathalie Lourdel. Il est donc principalement motivé par une volonté de prendre du recul sur nos pratiques d'enseignants. Ce thème a donné lieu aux publications (Gondran, Kammen 2004), (Lourdel, N. 2005), (Gondran, Breuil 2005), (Lourdel et al. 2006) et (Lourdel et al. 2007).

Ce mémoire présentera, dans un premier temps, une synthèse bibliographique sur l'évaluation et la représentation des enjeux environnementaux pour des transitions écologiques et énergétiques. A cette fin, nous dresserons d'abord le contexte de cette évaluation en évoquant brièvement certains enjeux environnementaux planétaires et locaux. L'objectif de l'évaluation étant de fournir des informations aux décideurs, nous nous pencherons ensuite sur la problématique de la diffusion et la mobilisation des connaissances, en nous concentrant plus particulièrement sur les connaissances liées aux enjeux

environnementaux. Nous évoquerons ensuite la notion d'évaluation environnementale stratégique en distinguant les notions d'impacts et d'enjeux environnementaux. Nous présenterons ensuite les outils de comptabilité environnementale sur lesquels reposent nos recherches. Nous aborderons le lien entre *l'évaluation* et la notion polysémique de *valeurs*, afin de montrer en quoi le choix d'un outil d'évaluation plutôt qu'un autre ne peut être considéré comme totalement dénué de subjectivité. Ces réflexions nous amèneront à expliciter deux postulats qui nous semblent être au cœur de notre positionnement de recherche :

- L'évaluation environnementale peut être perçue comme un moyen de construire de nouvelles représentations de l'environnement afin d'amener les acteurs à prendre en compte certaines préoccupations qu'ils n'envisageraient pas spontanément.
- Nous essaierons d'éviter de développer des outils d'évaluation reposant, de façon plus ou moins implicite, sur le postulat de substituabilité entre capital naturel et capital humain.

Ce paysage général étant dressé, nous présenterons ensuite plus en détail notre positionnement scientifique, reposant sur une approche interdisciplinaires basée sur la recherche-intervention. Bien que pouvant sembler à première vue dispersés sur des thèmes, et des approches, différents mais complémentaires, nos divers travaux de recherche suivent plusieurs orientations communes :

- Ils se situent à l'interface entre les outils de niveau "macro" (au niveau de la nation, par exemple) et les outils d'évaluation au niveau "micro" de chaque organisation.
- Ils s'appuient sur des approches de comptabilité environnementale basées sur les consommations des systèmes étudiés (et non sur leurs seules émissions directes).
- Ils ont vocation à proposer, aux acteurs impliqués, un élargissement de leurs critères de décision à partir des approches multicritères ou représentant les flux biophysiques.

Nous présenterons ensuite les apports de nos principaux projets de recherche, déclinés selon le type de méthodologie mise en œuvre :

- Les outils de comptabilité environnementale basés sur les méthodes d'analyses de risques
- Les outils d'évaluation qualitative à base d'indicateurs
- Un focus spécifique sur les questions énergétiques
- Les méthodes quantitatives de représentation d'indicateurs (reposant sur les méthodologies d'analyse multicritère et/ou sur les méthodologies de type ACV)
- Les travaux portant sur l'empreinte écologique

Nous prendrons ensuite un peu de distance sur ces travaux en évoquant nos difficultés à trouver un équilibre entre, d'une part, approche normative versus approche constructiviste et, d'autre part, entre précision scientifique versus la simplification souhaitée par les usagers des outils proposés. En nous appuyant en particulier sur les travaux de G. Bouleau et F. Jany Catrice, nous présenterons également quelques limites de l'évaluation environnementale.

Nous reviendrons ensuite sur la démarche d'interdisciplinarité intrinsèque à ces travaux en présentant et illustrant quelques principes qui guident la méthodologie de recherche que nous souhaitons essayer de transmettre.

Enfin, nous présenterons nos perspectives de recherche qui s'inscrivent dans une volonté de proposer aux acteurs des outils de comptabilité environnementale visant à guider les transitions écologiques et énergétiques. Ces perspectives se structurent autour de trois axes de recherche complémentaires et un axe transverse de réflexion.

- Notre premier axe de recherche vise à appliquer des méthodes de comptabilité environnementale à d'autres systèmes complexes que ceux étudiés jusqu'alors dans nos travaux.
- Le deuxième axe de recherche a pour objectif d'améliorer les outils d'évaluation existant dans une perspective d'aide à la décision.
- Notre troisième axe de recherche propose une réflexion amont sur le choix de nouveaux indicateurs qui semblent nécessaires dans une perspective de transition, tant par la forme que par le fond du choix des indicateurs.
- Enfin, nous ouvrons des pistes de réflexion transverses en nous interrogeant sur le lien entre le temps, la vitesse, l'accélération et la durabilité.

2. Des enjeux environnementaux planétaires et locaux

« Sous les pavés des bonnes intentions
Y a-t-il de la plage pour nos ambitions […]
Notre biotope
N'est plus tip top
Il est peut-être temps
De dire stop »

Monsieur Bidon, *Nostalgie de la jungle*, 2003

Dès que l'homme a commencé à se sédentariser, il y a de cela plus de 10 000 ans, il a, par la technique, apprivoisé son milieu pour le rendre plus hospitalier et a donc commencé à le modifier. Ces modifications avaient pour objectif principal d'améliorer le bien-être, voire la survie, des populations. Cependant, différents « *dommages collatéraux* » de ces transformations sont également apparus. Par exemple, de nombreuses épidémies médiévales telles que la peste, le typhus et le choléra avaient pour origine une mauvaise gestion des eaux usées et des déchets. Elles étaient ainsi liées à une forte concentration humaine dans les villes dont les milieux naturels (cours d'eau, par exemple) n'étaient plus en capacité d'épurer seuls les déchets qui y étaient rejetés. En 1832, le choléra fit encore 20 000 morts à Paris (Boutillier 2011).

Si le mouvement hygiéniste du XIX^{ème} siècle a permis d'améliorer la qualité de vie et de réduire l'insalubrité publique et d'endiguer localement les épidémies par des travaux d'aménagements urbains (Barbarino 2005), l'emprise de l'homme sur son environnement s'est globalement accentuée à la même période. En effet, depuis la révolution industrielle de la fin du XIX^{ème} siècle, basée sur « *le choix du feu* » (Gras 2007) et l'exploitation des ressources fossiles contenues jusqu'alors dans la lithosphère, l'impact des activités humaines n'est plus seulement local mais prend une dimension planétaire en modifiant des équilibres naturels mondiaux. L'exploitation d'hydrocarbures fossiles et leur combustion se traduit, entre autres, par le rejet de carbone venant modifier la composition de l'atmosphère et par conséquent les équilibres climatiques mondiaux. Le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) notait, en 2007, une hausse des températures moyennes de l'atmosphère et de l'océan, une fonte massive de la neige et de la glace et une élévation du niveau moyen de la mer (GIEC 2007). De nombreux systèmes naturels subissent déjà les changements climatiques régionaux (GIEC 2007). Même si l'on pouvait stabiliser aujourd'hui les concentrations de gaz à effet de serre, le réchauffement lié aux activités anthropiques et l'élévation du niveau de la mer se poursuivraient pendant des siècles du fait des échelles de temps des processus et des rétroactions climatiques (GIEC 2007).

La croissance de la population mondiale et des consommations de ressources qui y sont associées, la transformation et fragmentation des habitats, la production et consommation d'énergie et le changement climatique sont aujourd'hui considérés comme les principaux facteurs des changements globaux (Barnosky et al. 2012). Ces changements menacent la capacité de la Terre à nous faire vivre, nous et les autres espèces. Depuis la révolution

industrielle, nous sommes ainsi entrés, selon de nombreux auteurs, dans une nouvelle ère : l'anthropocène dans laquelle l'activité humaine devient le principal facteur des changements de l'environnement global (Barnosky et al. 2012)(Barnosky et al. 2011). Aujourd'hui, principalement du fait de la dépendance croissante aux combustibles fossiles et aux formes industrielles de l'agriculture, les activités humaines ont atteint un niveau qui risque de détériorer les systèmes qui maintiennent la terre dans l'état favorable qui caractérise l'Holocène (Rockström et al. 2009). Les conséquences risquent d'être irréversibles et, dans certains cas, de conduire à des changements environnementaux brutaux qui pourraient amener la Terre à un état moins propice au développement humain. J. Rockström et plusieurs dizaines de scientifiques de renom proposent ainsi un cadre de base sur les "limites de la terre"(Rockström et al. 2009). Ces limites définissent un espace de fonctionnement sécurisé à l'intérieur duquel l'Humanité devrait respecter le système terre ainsi que ses processus et sous-systèmes biophysiques. De nombreux sous-systèmes biophysiques réagissent de façon non-linéaire, souvent brutale, et sont particulièrement sensibles lorsque l'on s'approche de niveaux seuils pour certains paramètres. Si ces seuils sont dépassés, d'importants sous-systèmes (comme celui des moussons, par exemple) peuvent glisser dans un nouvel état, dégradé ou ayant des conséquences pouvant être désastreuses pour les humains (Rockström et al. 2009). Même si tous les processus ou sous-systèmes naturels n'ont pas des seuils clairement établis, les actions humaines qui diminuent leur résilience (dégradation des sols et de l'eau, par exemple) augmentent le risque que ces seuils soient dépassés dans d'autres domaines (système climatique, par exemple). J. Rockström et al. ont ainsi défini neuf processus pour lesquels il semble nécessaire de définir des limites planétaires : le changement climatique, le taux de perte en biodiversité (terrestre et marine), l'interférence entre les cycles de l'azote et du phosphore, le trou dans la couche d'ozone, l'acidification des océans, l'utilisation planétaire d'eau douce, le changement d'affectation des sols, la charge en aérosols atmosphériques et la pollution chimique. Ces neuf limites sont représentées sur le graphique ci-dessous et précisées dans la Figure 1.

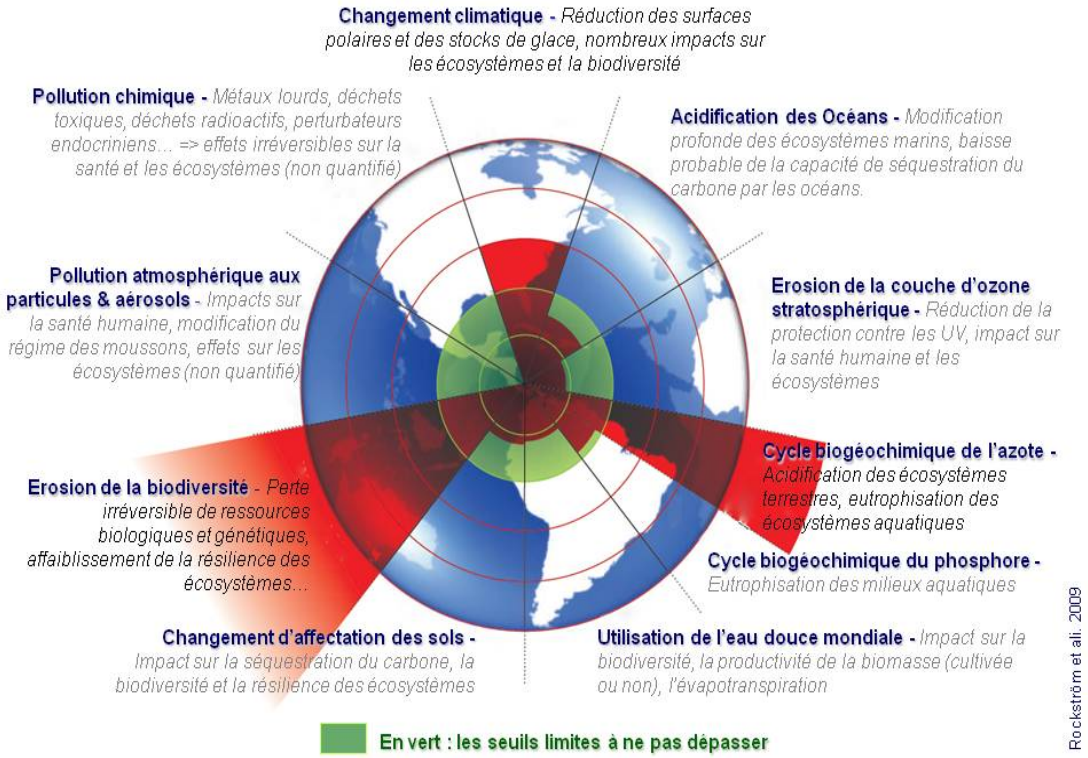


Figure 1. Au-delà des limites (traduit de (Rockström et al. 2009)**)**

Le disque vert de la figue ci-dessus représente l'espace de fonctionnement sécurisé pour les neufs limites définies. Les quartiers rouges représentent la position actuelle pour chaque variable.

Tableau 1. Les limites de la Planète (traduit de (Rockström et al. 2009) **)**

Processus du système Terre	Paramètres	Limites proposées par (Rockstrom et al., 2009)	Etat actuel (2009)	Valeur pré-industrielle
Changement climatique	Concentration en CO_2 (ppm en volume)	350	387	280
	Modification du forçage radiatif (en W/m^2)	1	1,5	0
Taux de perte en biodiversité	Taux d'extinction (nombre d'espèces par million d'espèces par an)	10	> 100	0,1 – 1
Cycle de l'azote (limite liée au cycle du phosphore)	Montant de N_2 enlevé de l'atmosphère pour une utilisation anthropique (millions de tonnes par an)	35	121	0
Cycle du Phosphore (limite liée au cycle de l'azote)	Quantité de P rejetée dans les océans (millions de tonnes par an)	11	8,5 – 9,5	-1
Trou dans la couche d'ozone	Concentration d'ozone (en Dobson[3])	276	283	290
Acidification des océans	Etat de saturation moyenne globale en aragonite des eaux marines de surface	2,75	2,90	3,44
Utilisation planétaire d'eau douce	Consommation d'eau douce par les humains (km^3 par an)	4000	2600	425
Changement d'affectation des sols	Pourcentage de surface de la Terre convertie en sols cultivables	15	11,7	faible
Charge en aérosols atmosphériques	Concentration en particules totales	A définir		
Pollution chimique	Par exemple, quantité émise ou concentrations moyennes mondiales en polluants organiques persistants, plastiques, perturbateurs endocriniens, métaux lourds et déchets nucléaires ou leurs effets sur les écosystèmes et le fonctionnement du système Terre	A définir		

Selon Rockström et al (2009), les limites de la planète seraient déjà dépassées pour au moins trois grands domaines : changement climatique, taux de disparition de la biodiversité et les interactions avec le cycle de l'azote. L'Humanité approche dangereusement les limites en ce

[3] Le Dobson est l'unité de mesure spécifiquement utilisée pour la masse surfacique de l'ozone stratosphérique. Une unité Dobson correspond à une couche d'ozone qui aurait une épaisseur de 10 µm dans les conditions normales de température et de pression

qui concerne l'utilisation d'eau douce, le changement d'affectation des terres, l'acidification de l'océan et les interactions avec le cycle du phosphore. Ces dépassements ne peuvent se prolonger indéfiniment sans éroder significativement la résilience des principaux composants qui garantissent le fonctionnement actuel du système terre.

J. Rockström et al. proposent ainsi trois pistes de recherche scientifique : la première, dans laquelle nous positionnons nos travaux, relève de l'économie écologique. Elle doit prendre acte des limites biophysiques de la croissance et aborder les possibilités d'action de l'Homme pour préserver les capacités de la Terre à nous fournir les ressources naturelles[4]. La seconde doit viser à mieux comprendre les processus planétaires, incluant le rôle de l'Homme. La troisième piste vise à mieux comprendre les conditions de résilience des systèmes dynamiques complexes, en lien avec l'auto-régulation des systèmes vivants et avec une attention particulière pour les effets de seuil et changements entre états différents.

Cette analyse est partagée par A. Barnosky et al. (2012) qui abordent plus particulièrement les risques d'atteinte et de réduction de la biodiversité. Les humains consomment aujourd'hui 20 à 40 % de la production primaire nette et réduisent cette production au niveau mondial du fait de la dégradation des milieux (Barnosky et al. 2012). Ainsi, selon ces auteurs, les ressources biologiques dont nous dépendons risquent de subir des transformations rapides et imprévisibles à l'horizon de quelques générations humaines. Anticiper ces risques, à l'échelle planétaire et locale, est devenu crucial pour assurer l'avenir des écosystèmes planétaires ainsi que des sociétés humaines. Cette anticipation nécessite non seulement des travaux scientifiques, mais aussi la volonté de la société de prendre en compte ces risques d'instabilité biologique pour établir des stratégies visant à conforter la pérennité du bien-être humain (Barnosky et al. 2012). Selon ces auteurs, cela nécessite de limiter à la fois la croissance de la population mondiale et l'utilisation de ressources par personne. Il faudrait pour cela améliorer l'efficacité énergétique, accroître rapidement la part d'énergie non fossile dans les consommations énergétiques mondiales, améliorer l'efficacité de la production et de la distribution alimentaire au lieu de défricher de nouveaux espaces ou de puiser dans les espèces sauvages. A. Barnosky et al. proposent également d'accroître les efforts pour gérer des réserves naturelles de biodiversité et de services écosystémiques, sur terre et dans les mers. « *Il faut reconnaître que ces tâches sont énormes, mais elles sont vitales si le but de la science et de la société est d'amener la biosphère vers des conditions souhaitables plutôt que vers des conditions qui nous menacent à notre insu* » (Barnosky et al. 2012).

Peut-être y a-t-il d'autres problématiques environnementales pour lesquelles le niveau d'atteinte à l'environnement approche des seuils critiques, mais dont nous ne connaissons pas encore l'existence compte-tenu de l'état actuel des connaissances scientifiques. Deux autres sujets, non mentionnés par les auteurs ci-dessus attirent toutefois notre attention :

- le pic du pétrole et des matières premières, c'est-à-dire la fin de matières premières fossiles et minérales bon marché,

[4] Le terme anglais "sustain" signifie à la fois soutenir, entretenir, maintenir, supporter et alimenter. Il englobe donc l'ensemble des services que nous propose la Terre. Nous n'avons pas réussi à identifier de terme français qui soit aussi englobant et expressif.

- le risque nucléaire.

La notion de **pic du pétrole** peut être définie comme « *le sommet de la courbe de production d'un bassin pétrolier ou d'une zone pétrolifère. Par extension, ce terme fait référence au moment où la production mondiale plafonnera en volume avant de commencer à décliner* » (connaissance des énergies 2014). Cette notion de pic du pétrole a été remise en cause par la soudaine explosion de l'exploitation des ressources dites « *non conventionnelles* » («*hydrocarbures très difficiles à extraire, soit parce qu'ils se trouvent dans des couches très peu perméables, soit parce que la nature même de ces hydrocarbures les rend peu ou pas mobilisables* » (Vially 2011)). Cependant, la conservatrice Agence Internationale de l'Energie reconnaît elle-même que « *la capacité des technologies à délivrer de nouveaux types de ressources et à augmenter le taux de récupération dans les champs existants a poussé vers le haut les estimations de la quantité de pétrole pouvant être extraite. Mais cela ne signifie pas que le Monde est à l'aube d'une nouvelle ère de pétrole abondant* » (IEA 2013). Cet organisme s'attend donc à une augmentation régulière du prix du pétrole, jusqu'à un niveau de 128$ par baril (en $2012) en 2035 afin de financer le développement de ces nouvelles ressources.

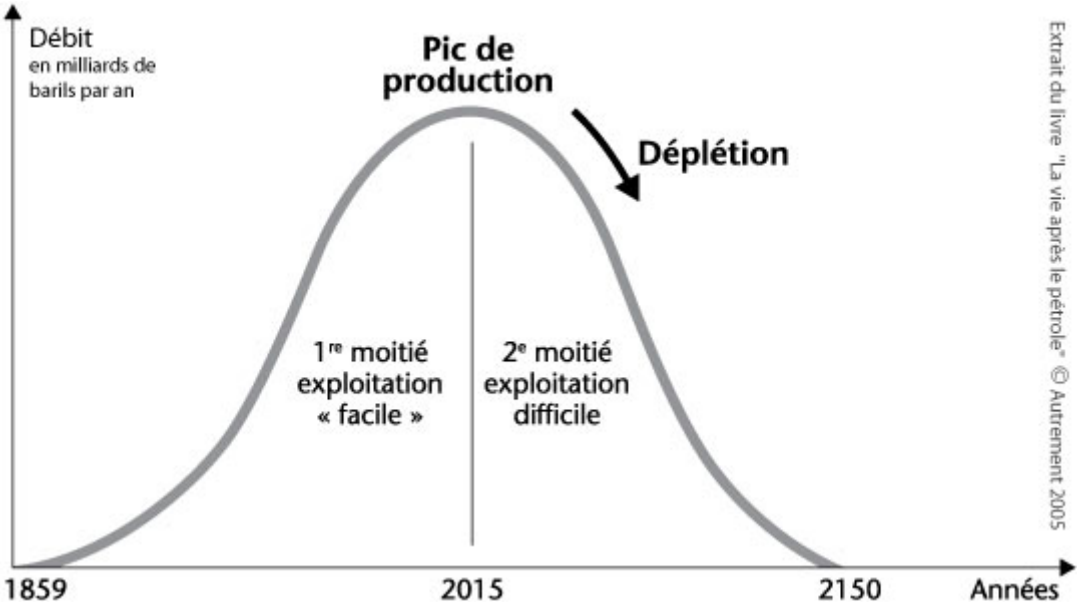


Figure 2. La notion de pic du pétrole (Wingert 2005)

Cette notion de "pic" peut être étendue à d'autres ressources, limitées par définition, comme certaines **ressources minérales**. Cette question des ressources minérales est pourtant souvent oubliée parmi les thèmes relevant des problématiques du développement durable (Varet 2007b). Pourtant, « *tout gisement de matière première minérale est par nature "non durable", puisqu'à la différence des ressources biologiques ou des ressources en eau, en permanence renouvelées par le cycle de l'atmosphère, une mine constitue un gisement fini et donc "épuisable"* » (Varet 2007b). Les matériaux minéraux posent moins de problèmes au niveau de leur disponibilité, que du fait de leur caractère pondéreux. Etant très utilisés, leur sites d'extraction génèrent de

nombreuses nuisances (carrières, gravières, etc.). L'abondance des ressources métalliques varie quant à elle beaucoup selon les métaux (Varet 2007b). Certains métaux posent aujourd'hui de réelles questions quant à la disponibilité de leurs ressources sur le long terme. Depuis 20 ans, un désengagement massif des investissements à l'amont du cycle des matières premières minérales est constaté en Europe, contrairement aux politiques des Etats Unis et d'Asie (Varet 2007b). Pourtant, l'Europe est particulièrement dépendante du reste du Monde en matières premières minérales.

Tableau 2. Dépendance de l'Union Européenne en matière première minérale (BRGM, 1997) ; depuis cette date la tendance n'a fait que croître.(Varet 2007b)

Ressource minérale (par ordre alphabétique)	**Taux de dépendance**	**Ressource minérale (par ordre décroissant)**	**Taux de dépendance**
Antimoine	100 %	Uranium	94 %
Beryl	100 %	Phosphate	93 %
Bore	100 %	Bauxite (Aluminium)	82 %
Cobalt	100 %	Minerai de fer	82 %
Etain	100 %	Minerai de Zinc	82 %
Ilmenite	100 %	Minerai de Cuivre	78 %
Magnésite	100 %	Minerai de Nickel	78 %
Molybdène	100 %	Minerai de Plomb	56 %
Niobium	100 %	Minerai de Chrome	50 %
Platine	100 %	Minerai de Tungstène	48 %
Rutile (Titane)	100 %		
Tantale	100 %		
Terres rares	100 %		
Vanadium	100 %		

L'augmentation à long terme de la consommation mondiale de métaux (tels que les terres rares, mais également les métaux de base tels que le Zinc, l'Etain, le Plomb, le Cuivre et le Nickel, par exemple) entraîne inévitablement une tension sur les matières premières (Varet 2007a).

Un état des lieux des principales problématiques environnementales qui se posent en France ne saurait être complet sans aborder la question du **risque nucléaire**, lié à la radioactivité et aux rayonnements émis. Nous ne détaillerons pas ce sujet sur lequel nous ne sommes pas légitimes, mais nous apporterons quelques rapides éléments de précision.

Les rayonnements ionisants émettent des niveaux d'énergie suffisants pour transformer les atomes qu'ils traversent en ions. Les différents types de rayonnements ionisants (α, β, γ et X) sont caractérisés par différents niveaux de puissance et d'effets (IRSN 2014). Les effets des rayonnements ionisants sur le vivant dépendent de leur nature, de la dose absorbée, et de l'organe touché. L'énergie générée par les rayonnements ionisants peut entraîner des

modifications de la matière vivante, au niveau cellulaire où ces rayonnements induisent des lésions (IRSN 2014). Deux types d'effets biologiques sont constatés (IRSN 2014):

- les effets immédiats sont liés à une forte irradiation par des rayonnements ionisants, qui provoque, par exemple, des brûlures plus ou moins importantes.
- les effets à long terme sont liés à des expositions à des doses plus ou moins élevées de rayonnements ionisants. Les êtres vivants peuvent alors subir des effets à long terme tels que cancers et leucémies

Outre les émissions chroniques liées au fonctionnement d'installations radioactives, ces rayonnements ionisants peuvent être générés par trois sources de risques nucléaires :

- l'accident majeur est « *un accident de très faible probabilité mais aux conséquences catastrophiques* » (Dessus 2007)
- Les matières et déchets nucléaires, stockés ou en circulation, présentent des risques majeurs. Certains de ces déchets ont des durées de vie de l'ordre de « *dix ou vingt mille générations* », ce qui pose des problèmes nouveaux tant sur le plan scientifique que sur le plan éthique (Dessus 2007).
- A ces risques technologiques, s'ajoutent des risques liés à des facteurs politiques : risques de prolifération (c'est-à-dire le risque de détournement des matériaux, matériels ou installations nucléaires de leur usage civil vers des applications militaires, par des états ou des groupes d'individus) et risques d'attentat terroriste (Dessus 2007).

Ces différents constats et menaces sont corroborés par le dernier **Global Environment Outlook (GEO-5),** rapport produit au cours d'un processus de plus de trois ans impliquant plus de 600 experts du monde entier, qui fait autorité sur le thème de l'évaluation de l'état de l'environnement, et sur les tendances et perspectives (United Nations Environment Programme (UNEP) 2012a).

Figure 3. Tableau de bord environnemental 2012, présentant les progrès réalisés sur les principaux enjeux environnementaux (United Nations Environment Programme (UNEP) 2012a)

Pour le Global Environment Outlook (GEO-5), un monde durable devrait viser à atteindre simultanément des objectifs de bien-être humain et la durabilité écologique aux niveaux planétaire, régional et local. La vision du GEO fait l'hypothèse que, d'ici 2050, tous les hommes pourront avoir accès à de la nourriture, de l'eau potable, des installations sanitaires et des sources modernes d'énergie, tout en respectant les limites écologiques planétaires. Cependant, le rapport reconnaît que pour atteindre ces objectifs, d'importantes modifications de trajectoires sont nécessaires et que si l'on poursuit les tendances actuelles, des dégâts environnementaux considérables seront à déplorer : diminutions importantes des services fournis par les écosystèmes, épuisement des ressources naturelles laissant de nombreuses personnes sans accès durable à l'alimentation, l'eau ou l'énergie (United Nations Environment Programme (UNEP) 2012a).

Pour éviter cela, l'UNEP appelle à des mesures structurelles et à une action politique forte pour modifier les modes de production et de consommation. Ces changements, à court et moyen termes, doivent non seulement combiner des mesures technologiques, des investissements et changement de gouvernance, mais ils doivent également orienter les modes de vie et les mentalités vers une plus large prise en compte des valeurs de durabilité et d'équité. Une aussi complexe transformation nécessite un processus de transition graduel, devant monter progressivement en puissance. Une telle transition exige un fort niveau de consensus et de coordination entre les divers acteurs sociaux. Selon l'UNEP, ce processus de transition devra s'inspirer du management adaptatif. En effet, les incertitudes sont un facteur clé des problèmes du système Terre. Des mesures diverses et complémentaires semblent nécessaires pour s'assurer contre des défaillances massives de services écologiques critiques. Ceci exige une forte gouvernance et détermination politique (United Nations Environment Programme (UNEP) 2012a).

Notre hypothèse directrice est que si l'on veut éviter que ces changements soient imposés à nos sociétés par la raréfaction des ressources et les crises économiques et sociales qui seront probablement associées à ces pénuries, il est nécessaire (même si non suffisant) que les acteurs des différents niveaux, du citoyen aux politiques, en passant par les organisations telles que les entreprises, s'approprient les connaissances sur les enjeux écologiques qui se posent à nos sociétés.

Dans le cadre de notre travail de thèse, nous avions montré, pour le cas particulier des chefs d'entreprise de PME, que la diffusion d'information générale sur un support tel qu'Internet, par exemple, ne suffisait pas à induire une prise en compte de l'environnement par les entreprises (Gondran 2001). En effet, le canal privilégié d'information des chefs d'entreprise est le contact direct avec différents types de partenaires (clients, fournisseurs, mais également collectivités locales, par exemple).

Ainsi, nous sommes bien conscients que l'appropriation des connaissances sur les enjeux environnementaux, par un public encore plus large, ne pourra pas simplement passer par la création, la diffusion et la transmission d'informations. Aussi, nous nous proposons, dans le chapitre qui suit, de faire un point bibliographique sur les questions liées à la diffusion et mobilisation de la connaissance.

2.1 Diffusion et mobilisation des connaissances sur les enjeux environnementaux

« Aucun homme ne peut rien vous révéler sinon ce qui repose déjà à demi endormi dans l'aube de votre connaissance.»

Khalil Gibran (1923) Le Prophète

Les questions liées à la gestion et au management de la connaissance font actuellement l'objet d'un nombre très important de travaux de recherche. Les points de vue des différentes disciplines sont parfois très différents, voire opposés (sciences de gestion et de management versus sociologie, notamment). Nous n'aurons pas ici la prétention de faire une synthèse exhaustive de ces différents travaux, mais de rappeler quelques définitions afin de positionner un cadre pour une réflexion sur la mobilisation des connaissances des enjeux environnementaux pour tendre vers la soutenabilité. Nous avons fait le choix d'utiliser principalement des travaux issus du domaine des sciences du management, dans lequel se positionne notre centre de recherche (Institut Henri Fayol). Nous sommes conscients que nous aurions pu, voire dû, faire le choix d'utiliser également de la littérature d'autres domaines (sociologie, voire psychologie) qui, d'ailleurs, se penche de plus en plus sur le sujet de l'évaluation que nous aborderons par la suite. Cependant, dans un souci de ne pas nous laisser entraîner dans des recherches bibliographiques sans fin, nous avons restreint notre recherche bibliographique dans les autres disciplines à des auteurs traitant explicitement du thème de l'information, ou de la connaissance liée aux enjeux écologiques ou environnementaux en vue de la soutenabilité.

2.1.1 La notion d'acteur

Avant d'aborder la question de l'information et de la connaissance, définissons la notion *d'acteur* que nous utilisons largement dans nos travaux. Nous sommes en effet conscients de la polysémie de ce mot ainsi que de ses diverses acceptions possibles. L'ouvrage de référence à cette notion d'acteur est l'ouvrage « *L'acteur et le système* », de M. Crozier et E. Friedberg, selon lequel « *une organisation, phénomène sociologique, est toujours un construit social, qui existe et se transforme seulement si d'une part elle peut s'appuyer sur des jeux permettant d'intégrer les stratégies de ses participants et si d'autre part elle assure à ceux-ci l'autonomie d'agents libres et coopératifs […] l'acteur est donc engagé dans un système d'action concret et doit découvrir, avec la marge de liberté dont il dispose sa véritable responsabilité* » (Crozier, Friedberg 1977).

La notion d'acteur est aujourd'hui couramment utilisée dans la littérature sur le développement durable, que ce soit dans des études relevant de la géographie, la sociologie, le management voire le génie industriel. En génie industriel, un acteur est une « *entité active et autonome qui connaît un certain nombre d'acteurs et qui suit un comportement propre défini par un ensemble de procédures* » (Burlat 1996). Ce dernier point permet ainsi aux spécialistes de

génie industriel de s'engager dans des démarches parfois avancées de modélisation mathématique du comportement des acteurs.

Les sciences humaines sont plus prudentes sur la voie de la modélisation. V. Noseda et J.B. Racine soulignent d'ailleurs que s'interroger sur cette notion d'acteur revient à « *mettre le doigt sur l'arbitraire de toute une série d'oppositions qui jouissent néanmoins encore d'une fortune incontestée : individu contre société, subjectivisme contre objectivisme, liberté contre contrainte, micro contre macro, etc.* » (Noseda, Racine 2001). Selon M. Crozier et E. Friedberg, « *l'acteur n'existe pas au-dehors du système qui définit la liberté qui est sienne et la rationalité qu'il peut utiliser dans son action. Mais le système n'existe que par l'acteur qui seul peut le porter et lui donner vie, et qui seul peut le changer* » (Crozier, Friedberg 1977).

V. Noseda et J.B. Racine définissent ainsi l'acteur comme un « *individu considéré en tant que composante de « systèmes sociaux » et agissant en conformité des normes et aux attentes qui convergent sur lui en tant qu'occupant une position sociale déterminée. En ce sens, l'expression désigne le sujet d'un rôle et renvoie à la métaphore récurrente du theatrum mundi, selon laquelle la vie est un théâtre dans lequel chacun joue son rôle par rapport à son âge, son sexe, à la culture d'appartenance (le terme « rôle » est en effet la contraction du terme latin rotolus, le rouleau sur lequel l'acteur dans l'antiquité lisait sa partie sur scène). Chaque théorie sociale incorpore une image plus ou moins explicite de l'acteur social. Les théories de l'action sociale oscillent entre un pôle volontariste, qui voit dans l'individu l'organisateur des éléments du système d'action, et un pôle déterministe qui voit dans l'homme un exécuteur de rôles* » (Noseda, Racine 2001)(Akoun, Ansart 1999).

Ainsi, la notion d'acteur se distingue de celle d'*agent*, par laquelle est désigné « *l'individu qui exécute une tâche, qui est essentiellement déterminé à agir par des conditions qui lui sont imposées* » (Akoun, Ansart 1999). Par acteur, est désigné « *l'individu qui agit selon ses propres desseins, selon ses propres motivations. Le fait de jouer un rôle dans une organisation ou une bureaucratie n'exclut pas que l'individu puisse se comporter en acteur : dans la mesure où il exécute le rôle prescrit selon ses propres besoins en l'adaptant ou en modifiant les interactions dans lesquelles il se trouve impliqué, il se comporte, dans une certaine mesure, en acteur. À certaines conditions, ce terme peut-être appliqué à un collectif. Une entreprise, une institution qui coordonnent les comportements de leurs membres dans des actions communes et assurent une continuité à leurs initiatives constituent des acteurs de la vie économique ou institutionnelle* » (Akoun 1999).

Cette définition nous semble bien correspondre à l'utilisation que nous faisons du terme "*acteur*", permettant de faire référence tant à *l'individu*, représentant l'institution qui l'emploie ou de laquelle il fait partie, qu'à *l'institution* elle-même qui coordonne les différents individus qui la composent. De plus, elle attribue à l'acteur une certaine *liberté* d'actions et de décisions au sein des processus dans lesquels il est impliqué.

Pour comprendre pourquoi et comment les gens agissent dans un univers de contraintes, M. Crozier utilise le concept de *pouvoir-incertitude*. Le pouvoir est défini en terme relationnel : on n'a pas de pouvoir hors de relations avec autrui. Le pouvoir peut ainsi être défini comme une relation dans laquelle les « *termes de l'échange* » sont favorables à un des acteurs. Il y a donc toujours de la réciprocité dans le pouvoir. Dans un ensemble organisé, le pouvoir naît de la maîtrise d'une zone d'incertitude (« *pouvoir–incertitude* ») (Saoud 2005). Chacun essaie donc d'influencer en fonction des incertitudes qu'il contrôle. Les jeux de pouvoirs entre acteurs sont donc intimement liés à la circulation de l'information.

2.1.2 Données, informations, communication et rationalités

Nous avions défini, dans notre thèse, les différentes notions que sont *données*, *information*, *rationalité* ainsi que les processus décisionnels et cognitifs mettant en relation ces notions (Gondran 2001). Nous ne les détaillerons pas à nouveau, mais rappelons quelques définitions.

Une ***donnée*** peut être définie comme le stimulus (signaux et messages) d'entrée d'un processus cognitif. Cette définition est précisée par la norme ISO 5127 comme un « *fait, une notion ou instruction représentée sous forme conventionnelle convenant à une communication, une interprétation ou un traitement soit par l'homme, soit par des moyens automatiques* » (AFNOR 1981).

Un des premiers auteurs à avoir travaillé sur la notion d'information pour l'organisation est Kenneth Arrow qui a introduit, en 1976, la notion de « *structure d'information* », définie comme la possibilité, pour un agent, d'obtenir l'information nécessaire à la gestion des risques générés par une situation d'incertitude. Cette structure est composée de « *canaux d'information* » dans lesquels circulent des « *signaux* » (ou flux d'information) et détermine la valeur des prises de décision de l'organisation. Chaque individu attend qu'un ensemble de signaux lui soit délivré avec une certaine probabilité « *a priori définie sur l'espace des signaux possibles* » (Arrow 1976). Un signal peut ainsi être défini comme un « *événement susceptible d'altérer cette loi de probabilité* » (Arrow 1976). C'est cette transformation des probabilités (distribution a posteriori différente de l'attente a priori) qui constitue une acquisition d'information. En fait, selon K. Arrow, il y a acquisition d'information si le signal reçu est différent de celui prévu par l'individu et s'il modifie ses attentes de signaux futurs (Arrow 1976).

J. Van Gigch souligne que cette transformation nécessite un processus cognitif qui permette de faire la sélection. *L'**information*** est alors la portion du stimulus initial qui est retenue (Van Gigch 1987).

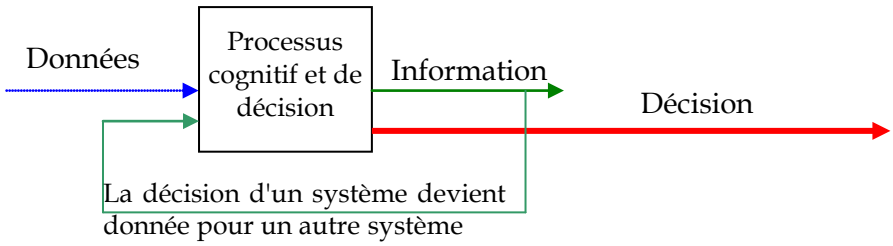


Figure 4. Processus cognitif et décisionnel (traduit de (Van Gigch 1987)**)**

L'ISO 5127 introduit également la notion de ***signification***, en définissant l'information comme la « *signification que l'homme attribue à des données à l'aide de conventions employées pour les représenter* » (AFNOR 1981). Ainsi, la création d'information nécessite une *sélection* et une *interprétation* d'un ensemble de données. Pour qu'une donnée puisse être considérée comme

information, il faut donc qu'elle soit captée (lue, entendue) par un individu, et surtout qu'elle soit comprise !

L'**information** peut alors être définie comme la **signification** que l'homme attribue à des données qu'il a sélectionnées et qui est **susceptible de modifier sa perception de l'environnement ou son comportement** afin de l'aider à **gérer les risques** et **l'incertitude** dans laquelle il se trouve (Gondran 2001).

La transmission d'information constitue la **communication**, qui peut être représentée selon la figure ci-dessous.

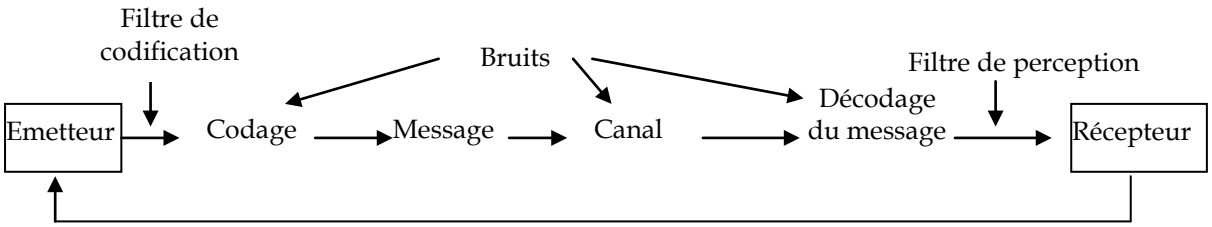


Figure 5. Le schéma de la communication inspiré de (André 1999)

Les travaux de P. André présentent la spécificité d'être appliqués à l'information pour l'évaluation environnementale. Selon (André 1999), la communication est influencée par la connotation des termes utilisés, son attitude envers autrui, les rapports d'influence et de rôle à rôle, la situation générale, les différentes représentations qu'ont émetteur et récepteur du but du message. De plus, la perception du message par le récepteur est influencée par son « *état de préparation* » face à l'information qu'il a perçue au préalable, la personnalité de l'émetteur (sa crédibilité, son charisme, sa sincérité) et l'utilisation qu'il désire faire de l'information.

Le message, constitué par les flux d'information, participe à la création de ***rationalité*** dans l'organisation. Cette notion peut être définie comme l'ensemble des « *capacités à ajuster les moyens dont l'agent dispose aux fins qui lui sont imposées par un « méta-niveau » qui le contrôle et lui donne son sens* » (Burlat 1996). Selon J. Van Gigch, quatre types de rationalités complémentaires sont nécessaires pour guider et assurer la cohérence du comportement et des décisions des agents : les rationalités structurelle, substantive, procédurale et évaluative. Les rationalités substantive et procédurale avaient déjà été introduites par H. Simon (Simon 1955), mais J. Van Gigch en modifie les définitions (Van Gigch 1987). Selon lui, la *rationalité structurelle* guide la mise en place de la **structure** de la prise de décision dans l'organisation. Elle est impliquée dans la définition des relations entre les différents sous-systèmes (Qui décide ? Qu'est-ce qui est décidé et comment ? Quand les décisions sont-elles prises ?). *La rationalité évaluative* se réfère aux **buts** recherchés par les décideurs, et aux **critères** définissant et évaluant ces objectifs. *La rationalité substantive* est relative au **contenu**, à la substance et aux connaissances qui guident les actions. *La rationalité procédurale* concerne le choix des procédures de prise de décision. Elle est relative à la **forme** de la prise de décision.

Selon J. Van Gigch, chaque niveau décisionnel doit pouvoir avoir accès aux quatre types de rationalités (structurelle, évaluative, substantive, procédurale).

Ce cadre a été utilisé dans plusieurs travaux de thèse portant sur les entreprises et co-encadrés avec Christian Brodhag : (Delchet 2006, Ponrouch 2008, Guilloux 2009, Guilloux 2009, Gondran 2001). En effet, la distinction entre les différents types de rationalités (structurelle, procédurale, substantive et évaluative) peut fournir un cadre intéressant en vue d'identifier un jeu relativement complet d'informations à diffuser ou recevoir par une entreprise. Cependant, ce cadre implique une vision managériale et pyramidale de la transmission de l'information. Ainsi, J. Van Gigch fait l'hypothèse qu'un agent serait déterminé par un "méta-niveau" qui lui fixerait ses objectifs et son sens … Si cette vision peut être acceptable dans le contexte d'une entreprise (et encore, qui n'est déterminé que par les informations reçues en interne de son entreprise ?), elle ne nous semble pas toujours adaptée aux jeux d'acteurs complexes et généralement non structurés que nous rencontrons généralement dans le contexte d'initiatives visant à la soutenabilité, en particulier dans le cadre de problématiques territoriales. Nous avons donc fait le choix, dans nos travaux, de ne pas utiliser fidèlement le cadre proposé par J. Van Gigch, mais de nous en inspirer pour identifier les différents types de rationalités, complémentaires, mobilisés par les acteurs.

2.1.3 De l'information à la connaissance

Depuis le constat de la rationalité limitée du décideur (par H. Simon en 1955) et jusqu'aux années 1990, de nombreux travaux de recherche se sont intéressés à l'utilisation de l'information dans l'organisation, que ce soit en sciences de gestion ou en sciences de l'information. Ainsi que nous l'avons souligné précédemment, ces travaux se situent souvent dans le cadre d'une vision managériale, et plus particulièrement, relèvent de la théorie des systèmes (inspirée par exemple des travaux de J.L. Lemoigne, L. Von Bertalanffy, etc.). Cette vision occidentale dans laquelle s'inscrivent les travaux de management a été remise en cause, dans la fin des années 90, par les travaux de chercheurs japonais (Nonaka, Takeuchi 1997). La vision occidentale considère en effet l'organisation comme une boîte noire, qui collecterait à l'extérieur de l'information puis la transformerait pour résoudre un problème et s'adapter à son environnement afin d'atteindre un objectif donné. Selon ces auteurs japonais, cette vision statique et passive de l'organisation ne permet pas de cerner la dynamique des processus de création de la connaissance (Nonaka, Toyama & Konno 2000). Selon eux, les organisations ne se contentent pas de résoudre des problèmes, mais créent et définissent des problèmes, développent et utilisent des connaissances nouvelles. L'organisation n'est donc pas seulement une machine qui traite de l'information, mais une entité qui crée de la connaissance à travers l'action et les interactions (Nonaka, Toyama & Konno 2000).

La connaissance est définie par Nonaka et al. comme « *un processus humain dynamique qui conduit à justifier ses croyances personnelles vers une "vérité »* » (Nonaka, Toyama & Konno 2000) (notre traduction). « L*a connaissance exprimée sous forme de mots ne représente que le sommet de l'iceberg* » (Nonaka, Toyama & Konno 2000). La connaissance est donc par essence humaine, et liée aux actions des hommes. Elle est dynamique car issue d'interactions sociales entre les individus et les organisations. Elle est contextualisée car elle est spécifique à un moment et un lieu donnés. Hors de son contexte, il s'agit d'information et non de connaissance.

L'information se transforme en connaissance quand elle est interprétée par un individu, dans un contexte donné, et ancrée dans les croyances et les valeurs de cet individu. Ainsi la connaissance est relationnelle. « *La connaissance est profondément enracinée dans l'action et l'expérience d'un individu autant que dans ses idéaux, ses valeurs et ses émotions* » (Nonaka, Takeuchi 1997).

Selon Nonaka et al., il y a deux types de connaissances : les connaissances explicites et les connaissances implicites. Les connaissances explicites peuvent être exprimées en langage formel et systématique. Elles peuvent être partagées sous la forme de données, formules scientifiques, spécifications, manuels, etc. Elles sont donc facilement traitées, transmises et conservées. Inversement, les connaissances implicites sont quant à elles propres à chaque personne et difficiles à formaliser : idées subjectives, intuitions et pressentiments, par exemple. Elles sont également fortement ancrées dans l'action, les tâches quotidiennes, les engagements, idéaux, valeurs et émotions. Il est ainsi difficile de les communiquer aux autres de façon formelle. Par contre, ce sont aussi des connaissances que l'on peut partager sans les expliciter.

Nonaka et al. définissent quatre modes d'échanges de connaissances : la socialisation, l'extériorisation, la combinaison puis l'intériorisation.

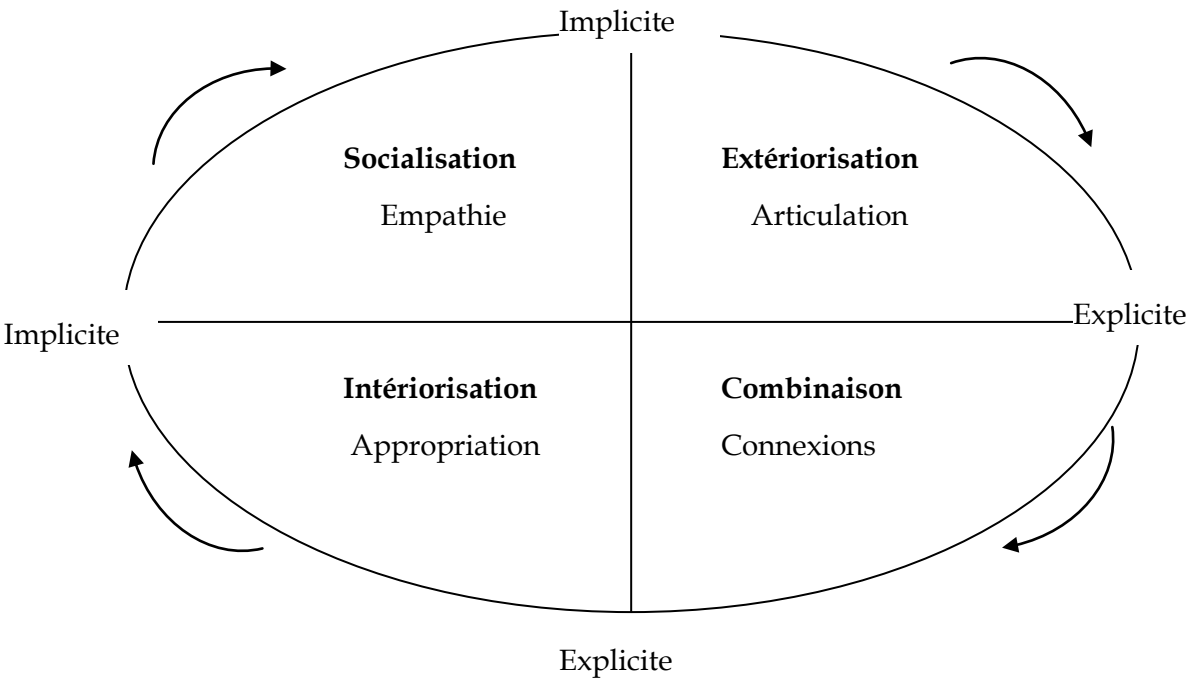


Figure 6. Transferts de connaissances explicites et tacites (d'après (Nonaka, Toyama & Konno 2000)**)**

Le processus de création de nouvelles connaissances implicites est nommé « *socialisation* » par Nonaka et al. (2000). En effet, l'échange de connaissances implicites émerge d'expériences partagées (apprentissage manuel, par exemple), d'échanges sur les différentes visions du monde.

Le passage de connaissances implicites en connaissances explicites est nommé « *extériorisation* ». Cela permet une cristallisation de la connaissance qui peut ainsi plus facilement être partagée et être une base pour le développement de nouvelles connaissances.

Le processus de « *combinaison* » permet de transformer de la connaissance explicite en jeux de connaissances plus complexes et systématiques.

Ces deux processus – extériorisation et combinaison – nous semblent être ceux sur lesquels reposent, par exemple, les démarches dites de « *Knowledge-Management* », définies par (Sene 2000) comme « *l'ensemble des pratiques de rationalisation des savoirs, autrement dit l'ensemble des démarches, méthodes et outils facilitant la création, la diffusion et le renouvellement des connaissances consubstantielles d'une action collective jugée performante* ».

Le processus « *d'intériorisation* » permet de s'approprier des connaissances explicites sous la forme de connaissances implicites (apprendre en faisant soi-même, par exemple).

Ainsi, les travaux de Nonaka et al. montrent que si la formalisation des connaissances (sous forme électronique, par exemple) est nécessaire et peut permettre une diffusion plus large des connaissances explicites, cet outil ne peut suffire pour une appropriation individuelle et collective des connaissances. Dans un article précédent (Von Krogh, Nonaka & Ichijo 1997), I. Nonaka, G. Von Krogh et K. Ichijo plaidaient pour l'introduction de « *militants de la connaissance* » (notre traduction de « *knowledge activists* ») comme facilitateurs du partage et de la création de la connaissance.

Leurs travaux, comme la plupart des travaux de recherche portant sur le sujet de la connaissance d'ailleurs, ont pour finalité d'aider les organisations (et en particulier les entreprises) à optimiser leurs performances. Performances a priori évaluées selon des critères économiques. Les travaux de recherche portant sur la gestion de la connaissance dans un cadre social plus large et en vue de la durabilité écologique nous semblent plus rares.

Nous avions initié une telle réflexion dans le cadre de notre thèse de doctorat portant sur le système de diffusion de l'information environnementale à destination des PME. V. Soulignac s'est inspiré de nos travaux pour poursuivre la réflexion quant à lui dans le domaine de l'agriculture durable (Soulignac 2012).

Si les travaux de recherche sur la gestion de la connaissance en vue de la soutenabilité écologique nous semblent peu nombreux, nombreuses sont les initiatives, anglophones comme francophones, de mise à disposition de l'information dans ce domaine, en particulier sur le support d'internet. Certains sites et portails internet sont mis en place par les acteurs publics (http ://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?id=11433&m=3&cid=96 , http ://www.toutsurlenvironnement.fr/, base de données statistiques http ://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/, etc.). D'autres, que nous ne citerons pas ici, sont publiés par des entreprises. Mais la majorité sont portés par des associations, ayant des audiences diverses selon leurs thèmes et leurs spécificités : communauté francophone (http ://www.mediaterre.org), grand public (http ://www.ritimo.org/, http ://www.encyclopedie-dd.org , etc.), experts (http ://www.global-chance.org, par exemple), universitaires (http ://www.uved.fr/), militants (http :// http ://www.ecologitheque.com/, par exemple), pour n'en citer que quelques-uns à titre illustratif.

Cependant, les travaux de Nonaka nous montrent la limite des systèmes d'information sur support informatique. Si ces systèmes peuvent contribuer à la phase de combinaison,

l'appropriation des connaissances doit se faire par d'autres vecteurs. En particulier, il semble indispensable de faire transiter les connaissances par des êtres humains, des facilitateurs du partage et de la création des connaissances en soutenabilité.

2.1.4 Le cadre conceptuel K*

A l'occasion d'une conférence de l'UNU-INWEH (United Nations University - Institute for Water Environment and Health), qui s'est tenue à Hamilton (Canada) en 2012, des chercheurs travaillant sur le partage des connaissances dans le domaine de la protection des ressources naturelles ont proposé le cadre conceptuel du K*. Ce cadre a pour objectif de mieux comprendre et améliorer les moyens selon lesquels la connaissance est partagée et utilisée afin de mettre en place des changements effectifs tendant vers la durabilité (Shaxson, Bielak & et al. 2012.).

La première étape consiste à poser quelques définitions pour les thèmes fréquemment utilisés dans le domaine de la gestion des connaissances, sans prétendre à l'exhaustivité.

La notion de ***Knowledge Management*** (KM) est largement débattue dans la littérature managériale. A ses débuts, dans les années 1990, il s'agissait d'un cadre conceptuel qui englobait l'ensemble des activités ayant pour objectif de permettre à l'organisation d'agir plus intelligemment. Avec le succès croissant de cette notion, les définitions publiées se sont progressivement axées sur des activités spécifiques et ciblées, et en particulier, l'élaboration de systèmes informatiques permettant de collecter, gérer et stocker des connaissances explicites afin de pouvoir y accéder sur demande (Nevo, Chan 2007).

La notion de ***transfert de connaissances*** (KT Knowledge Transfer) a été définie comme un processus selon lequel (Duan, Nie & Coakes 2010) :

- Une organisation (groupe, entreprise, service, etc.) transmet son expérience à une autre,
- Des informations et des connaissances organisées de façon systématique sont échangées entre deux entités,
- La connaissance est échangée entre ou parmi des individus, équipes, groupes ou organisations.

Selon (Shaxson, Bielak & et al. 2012.), il s'agit plutôt d'un processus d'échange à sens unique, tel qu'une relation enseignant – élève, par exemple.

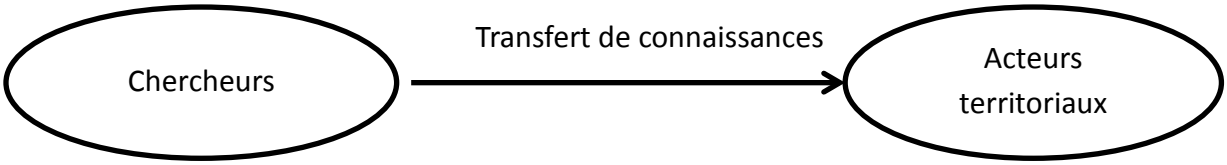


Figure 7. Représentation du transfert de connaissances (traduit de (Shaxson, Bielak & et al. 2012.)**)**

La notion d'échange ou traduction de la connaissance (***Knowledge Translation*** (KT)) semble surtout étudiée dans le champ médical. En effet, plus de 99% des articles proposés par la base de données « Science direct » pour le champ « *knowledge translation* » relevait, le 1er

février 2013, du champ médical et, en particulier, aucun article ne portait à la fois sur les champs « *knowledge translation* » et « *sustainability* ». Du fait même de son objet d'étude, le champ médical semble ainsi s'intéresser davantage que les autres domaines, aux interactions entre les différents acteurs en présence (patients, praticiens, administratifs et décideurs politiques). La traduction intégrée de la connaissance, qui implique une collaboration active entre chercheurs et utilisateurs potentiels des connaissances, apparaît comme une des réponses les plus adaptées au problème de la sous-utilisation des résultats des recherches. Il s'agit d'un processus de traduction de la connaissance d'un format à un autre afin que le récepteur (souvent non-spécialiste) (Kothari, Wathen 2013) s'approprie les éléments de connaissances en question. La traduction de la connaissance implique ainsi une plus grande proximité entre différents acteurs. Elle peut être représentée comme un processus à sens unique ou à double sens, dynamique et fluide, entre différents groupes de personnes, qui intègre différentes formes de connaissances provenant de sources diverses (Ward et al. 2012).

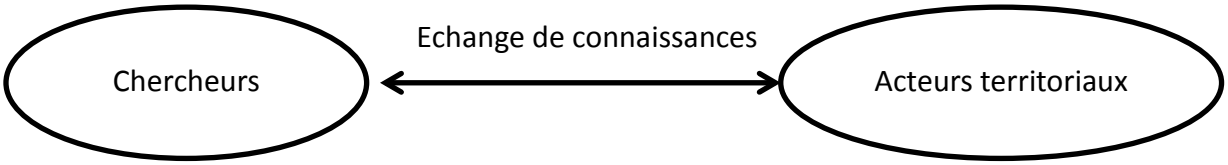


Figure 8. Représentation de l'échange de connaissances (traduit de (Shaxson, Bielak & et al. 2012.)**)**

Si cette dynamique fait l'objet de nombreuses publications dans le domaine médical, impliquant ainsi chercheurs, praticiens et patients, encore peu d'exemples, en France, nous semblent relever de cette dynamique dans une perspective de réduction des impacts environnementaux de nos modes de vie. Sur le plan international, les travaux novateurs de (Morello-Frosch et al. 2009) impliquent des communautés qui sont directement concernées par des problèmes de santé publique liés à un fort taux d'exposition à la pollution de l'air, de l'eau ou des sols. Il s'agit ici de problèmes environnementaux, mais le lien avec la santé des personnes impliquées reste très présent car il s'agit de pollutions locales. Ce type de travaux nous semble une piste prometteuse afin de permettre aux personnes concernées d'identifier elles-mêmes des modes de faire qui soient tout à la fois acceptables, voire souhaitables et pertinents en termes de diminution des impacts environnementaux et d'accroître la résilience de leurs modes de vie face aux risques de crises écologiques et sociales. Cependant, on peut penser que ce modèle fonctionne dans le domaine de la santé car les personnes concernées (les patients ou les personnes exposées à la pollution) ont un intérêt direct et personnel à s'impliquer dans de telles recherches. Il paraît plus difficile d'impliquer massivement des volontaires pour des initiatives portant sur des impacts environnementaux planétaires. On peut donc faire l'hypothèse qu'une telle dynamique ne se mettra en place que lorsque chacun aura vraiment l'impression d'avoir quelque chose à gagner dans le changement. La configuration suivante, intermédiaire, nous paraît donc plus réaliste à mettre en place dans une perspective de durabilité.

Le courtage de connaissances (***Knowledge Brokering*** (KB)) est l'activité humaine qui permet le transfert de connaissances. Il s'agit d'une activité dynamique qui va bien au-delà de la

notion classique de transfert vue comme une activité de collecte qui permet de faire transiter l'information d'une source à un récepteur. Le courtage consiste à identifier et mettre en réseau des personnes intéressées par un problème donné afin de faciliter l'identification et la mise en place de solutions éprouvées grâce à l'accroissement des connections entre les gens qui facilite le transfert de connaissances (Sheate, Partidário 2010). Il s'agit d'échanges mutuels qui facilitent l'apprentissage collectif et impliquent généralement des « *courtiers* » ou médiateurs. On peut, par exemple, identifier de tels « *courtiers* » de la connaissance dans le domaine de l'efficacité énergétique et la promotion des énergies renouvelables avec le réseau des Espaces Infos Energie dont le rôle est justement de sensibiliser et accompagner les Français dans la réduction de leurs consommations énergétiques.

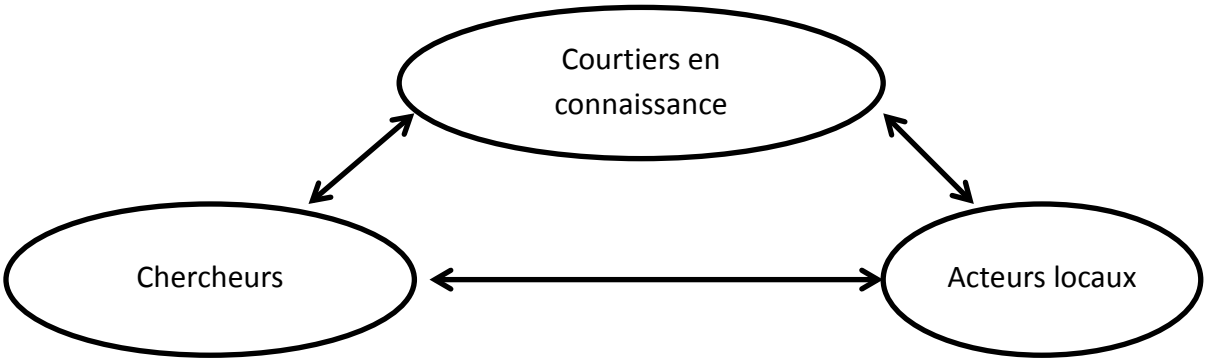


Figure 9. Représentation du courtage de connaissances (traduit de (Shaxson, Bielak & et al. 2012.)**)**

La **mobilisation des connaissances** est un processus partagé qui utilise les connaissances existantes et crée collectivement de nouvelles connaissances pour faciliter les changements. En particulier, ce terme est utilisé par le réseau canadien sur l'impact des recherches qui contribue au transfert des connaissances universitaires pour aider des groupes de citoyens (Shaxson, Bielak & et al. 2012.).

Les frontières entre ces différentes fonctions sont floues et peuvent être représentées par le spectre représenté Figure 10.

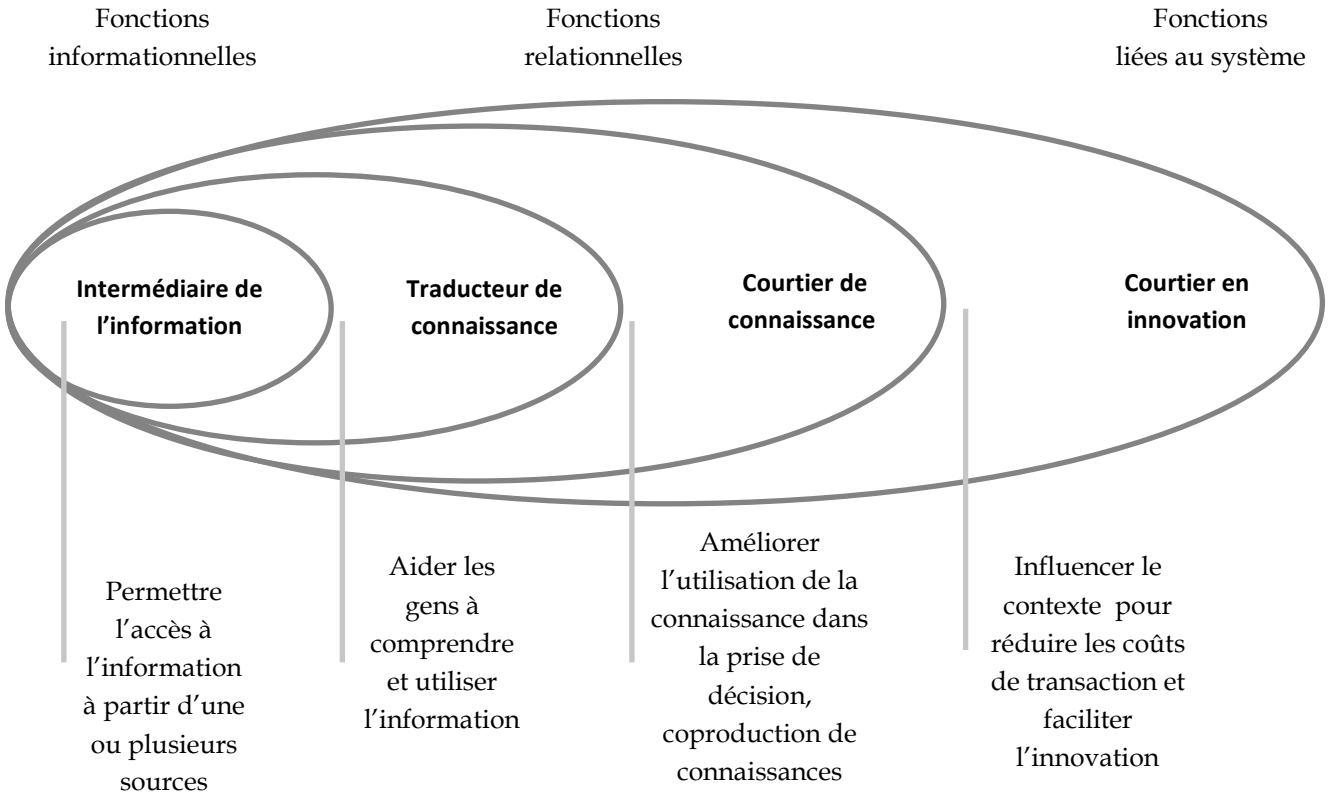


Figure 10. Le spectre K* (traduit de (Shaxson, Bielak & et al. 2012.)**)**

La vision d'une transmission « *top-down* » de l'information, où des experts (souvent techniques) prodiguaient de l'information vers d'autres personnes, recherchant peu les interactions avec leur public, semble aujourd'hui dépassée. Ce modèle linéaire de transfert d'information (de type "cours magistral », publication écrite, etc.) repose sur la croyance que l'information arrivera aux personnes qui en ont besoin quelle que soit la façon dont elle est transmise, y compris entre des mondes qui ne communiquent guère entre eux tels que la recherche, le monde politique et les acteurs de terrain. Ce modèle de l'échange des connaissances et de la prise de décision s'apparente au modèle dit « *rationnel-légal* », décrit par M. Weber (1919) (Weber 1919 (1980 réédition)) qui prônait une séparation totale entre science et politique du fait d'une différence de motivations entre ces deux mondes. Selon M. Weber, la morale de « *l'homme de science* » est supposée être une morale de l'objectivité visant la recherche du vrai ou la connaissance et la description objective du Monde, tandis que celle de l'homme politique résiderait dans sa volonté de changer le Monde – et non simplement de le connaître (Boutaud 2005). C. Granjou présente l'historique, depuis les années 1960 de la problématique de l'expertise, c'est-à-dire la question de l'intégration de savoirs scientifiques dans les processus de décision politique, dans le champ de l'environnement (Granjou 2003). En France, un des points de départ de cette réflexion est l'organisation à Arc et Senans, en 1989, par l'association GERMES, d'un colloque intitulé «*Les experts sont formels : controverses scientifiques et décisions politiques dans le domaine de l'environnement* », réunissant 400 hommes politiques et scientifiques de 10 pays différents (Granjou 2003). Les discussions sur ce thème partaient du « *constat d'une dépendance accrue de la société à l'égard de la science, devenue le médiateur indispensable entre l'homme et un environnement dont la plupart des caractéristiques*

pertinentes (du point de vue de la pollution et de la santé) sont de plus en plus inaccessibles au profane » (Granjou 2003). Cette dépendance entre société et science interroge le modèle du « *savant et du politique* » prônant la séparation entre ces deux mondes aujourd'hui interdépendants. La société et les rapports entre l'homme et son environnement se complexifient plus rapidement que ne progresse la connaissance. Les décisions doivent être prises en dépit de fortes incertitudes liées à la puissance de la technologie et aux risques qu'elle génère, aboutissant ainsi à l'émergence du principe de précaution (Boutaud 2005). Cependant, cette interdépendance entre science et politique risque de donner lieu à une exacerbation de la technocratie et à une perte de confiance dans le savoir rationnel (Granjou 2003). Cela implique donc la définition de nouvelles règles du jeu politique, reconnaissant la pluralité de l'expertise. Les procédures d'expertise devraient ainsi pouvoir prendre acte des limites des connaissances scientifiques ainsi que reconnaître et prendre en compte les connaissances portées par les citoyens (expertise contradictoire, participation, forum hybride, etc.). Ces procédures impliquent avant tout d'en finir avec l'idée que «*toute science est une connaissance certaine et indubitable*» (Descartes cité par (Granjou 2003)).

L'objectif du modèle K*, présenté par Shaxson et al., est de proposer un modèle alternatif d'échange d'information et de connaissances afin de « *réconcilier* » le monde scientifique, celui des politiques et celui des acteurs de terrain (Shaxson, Bielak & et al. 2012.). Il ne s'agit pas de susciter l'émergence d'"*experts K**" qui viendraient s'ajouter à ces différents acteurs, mais plutôt de viser à susciter des processus qui faciliteraient les interactions entre ces différents mondes.

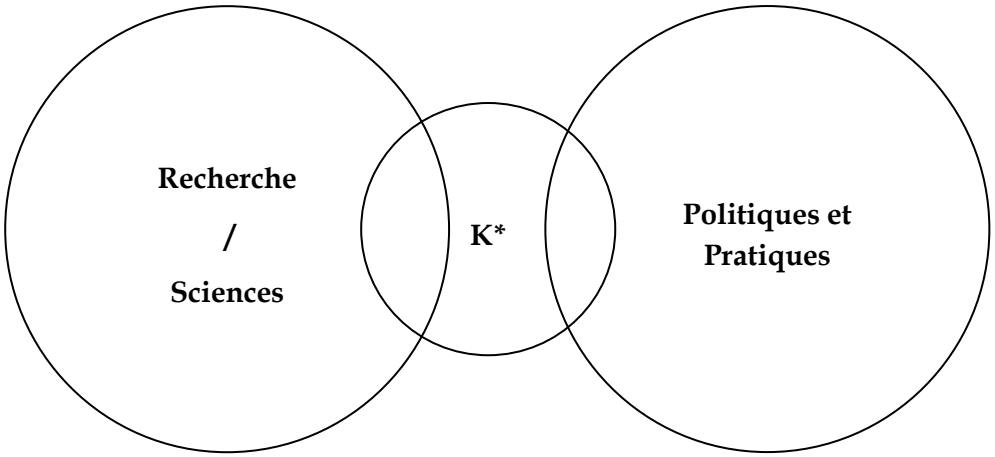


Figure 11. Positionnement de K* dans le modèle linéaire de transfert de technologies (traduit de (Shaxson, Bielak & et al. 2012.)**)**

Le modèle linéaire ci-dessus est aujourd'hui dépassé. Il faut en effet plus qu'un pont entre les deux mondes pour permettre un réel échange des connaissances (Shaxson, Bielak & et al. 2012.).

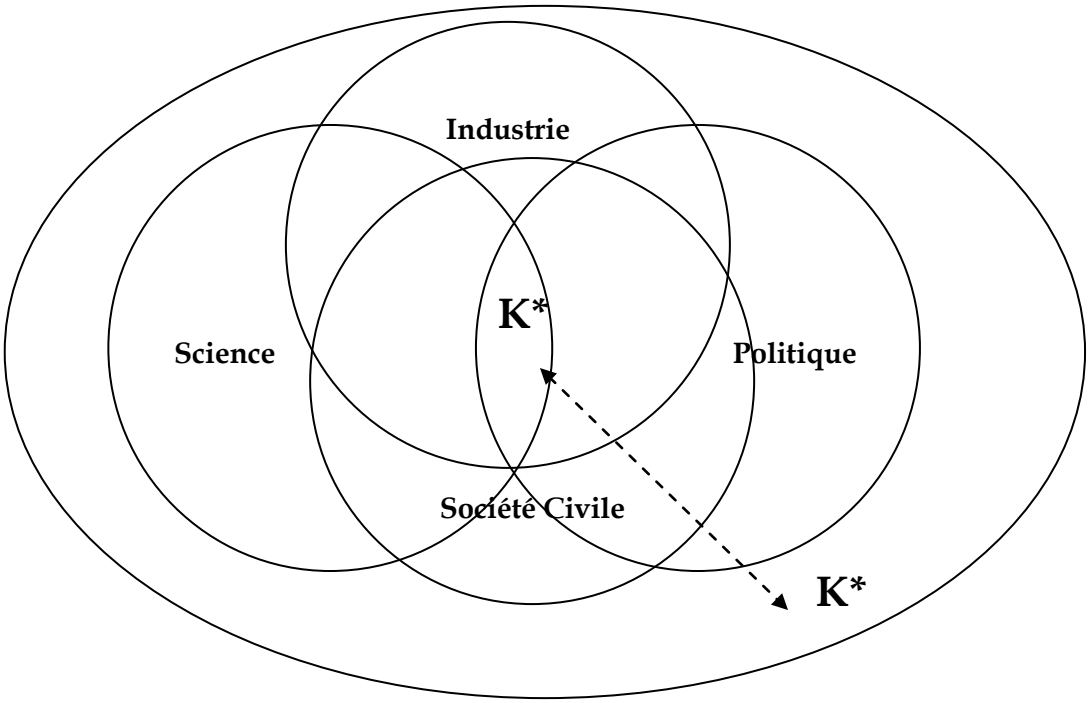


Figure 12. Représentation de K* comme englobant l'ensemble du jeu d'acteurs (traduit de (Shaxson, Bielak & et al. 2012.)

Selon (Shaxson, Bielak & et al. 2012.), K* représente l'ensemble des fonctions et processus situés aux différentes interfaces entre les connaissances, les pratiques et politiques et qui permettent d'améliorer les partages et utilisations des connaissances ainsi que de permettre aux processus de partage existant d'apporter des changements réels vers la durabilité.

Le spectre de fonctions K*, représentées sur la Figure 10, est défini par (Shaxson, Bielak & et al. 2012.) :

• Des **fonctions d'information** visent à créer, collecter, codifier, mémoriser, communiquer des idées et des informations dans le temps et l'espace afin de les rendre plus accessibles et mobilisables.

• Des **fonctions relationnelles** permettent d'améliorer les relations entre les différents acteurs, autour d'un problème donné, pour permettre la coproduction de connaissances et le dialogue, en respectant les dynamiques de pouvoirs entre les différents acteurs.

• Des **fonctions liées au système** viennent modifier l'ensemble du système et assurer un contexte institutionnel propice aux changements vers la durabilité.

L'objectif de ce cadre K* est de mettre en évidence l'importance des différentes fonctions qui relèvent de l'utilisation et de la mobilisation des connaissances afin d'aider les acteurs à mieux comprendre où chacun se positionne, ce que font les autres et de faciliter les mises en relation entre acteurs de différents secteurs thématiques et géographiques. Il n'implique pas de hiérarchie ni de progression. Les différentes fonctions énoncées (« *infomédiaire* »,

« *traducteur* », « *courtier en connaissances et en innovations* ») sont complémentaires et toutes nécessaires (Shaxson, Bielak & et al. 2012.). Cependant, on peut reprocher à ce cadre conceptuel de se positionner dans une approche issue des courants de pensée managériaux, ne prenant pas en compte la distinction entre connaissances implicites et explicites, et restant malgré tout dans une inspiration "top-down", plutôt que dans une approche "bottom-up" telles que celles pouvant être portées par les travaux relevant de la sociologie, voire de la psychologie.

L'hypothèse sous-jacente à ses travaux, qui oriente également nos travaux de recherche, est que le partage de connaissances relatives aux impacts environnementaux, et plus généralement à la soutenabilité, est une condition nécessaire, même si probablement largement insuffisante, à la mise en place de meilleures conditions de soutenabilité et de résilience de nos sociétés.

Il nous semble nécessaire de préciser une distinction qui nous apparaît majeure entre la gestion des connaissances "classiques" (approche de type knowledge management, par exemple), et le partage de connaissances dans le domaine de la soutenabilité, et plus particulièrement de la prise en compte de l'environnement. Dans les approches classiques de gestion des connaissances, chaque acteur va assurer les différentes fonctions relatives à la création et au partage de connaissances en vue d'optimiser l'atteinte de ses propres objectifs (économiques, techniques, etc.) et de ses intérêts particuliers. Dans une optique de transition vers une société plus soutenable, tout l'enjeu du partage des connaissances est d'amener différents acteurs à prendre en compte des connaissances qu'ils ne prendraient pas spontanément en compte, voire qui entrent en conflit avec les connaissances qui correspondent à leurs intérêts particuliers, et à certaines de leurs pratiques, conventions sociales et convictions. Ainsi, si pour assurer la pérennité de son activité, un acteur (individu, entreprise, etc.) a tout intérêt à bien s'informer sur le contexte économique et juridique, par exemple, dans lequel il évolue, il n'a pas fondamentalement un intérêt vital à s'informer sur les impacts environnementaux qu'il génère et les moyens de les réduire, sauf si le respect de l'environnement correspond à une de ses valeurs personnelles fortes. La présence de tierces parties, tels que les médiateurs ou « *courtiers en connaissances environnementales* », évoqués plus haut, apparaît ainsi comme particulièrement nécessaire.

Afin de trouver un terrain d'entente entre objectifs individuels et objectifs environnementaux, nous reconnaissons qu'il doit vraiment s'agir d'un *partage* de connaissances, et non seulement d'une *diffusion* ou *transfert*. Dans cette optique, M.C. Zelem propose de « *remiser la notion d'acceptabilité sociale, qui tend à faire peser la responsabilité de nos modes de vie énergivores uniquement sur les consommateurs, pour lui préférer la notion de faisabilité sociotechnique qui oblige à questionner le sens des techniques et les choix politiques en matière d'énergie* »(Zelem 2012). M.C. Zelem souligne ainsi qu'il ne suffit pas que les enjeux environnementaux, et en particulier ceux liés à la lutte contre le changement climatique, fassent l'objet d'un large consensus pour permettre le changement. Il faut également que les moyens à mettre en œuvre soient reconnus par la majorité des gens. L'approche souvent privilégiée par techniciens et décideurs politiques est la réflexion en termes « *d'acceptabilité sociale* » qui appréhende les conditions du changement ainsi que

les inerties liées aux résistances, mais écarte souvent « *ce qui relève de l'inacceptabilité sociale* » (Zelem 2012). Ainsi, pour le cas du développement des énergies renouvelables, par exemple, M.C. Zelem souligne que la notion d'acceptabilité sociale se réfère à des éléments de connaissance sur les technologies proposées, les risques associés (sociaux, sanitaires, électoraux, économiques, mais aussi techniques), les alternatives possibles, les coûts et avantages des options préconisées, les dispositions des publics destinataires ou/et du territoire d'accueil, par exemple. Mais, deux éléments sont souvent sous-estimés : « *la façon dont le projet est promu (du point de vue sémantique, politique, technique, économique ou social) et le degré de confiance dans le mode de gouvernance adopté* » (Zelem 2012).

Ainsi, M.C. Zelem montre que, dans le cas des projets d'implantation d'énergies renouvelables, le manque d'information et de concertation, en amont sur le projet et sur ses risques, ainsi que l'absence de participation des populations locales dans les processus de décision, conduisent bien souvent à un rejet des projets proposés. Ainsi l'appropriation de technologies telles que les énergies renouvelables, qui sont par essence des projets décentralisés et disséminés sur un territoire bien plus large que les centrales de production électrique à base d'énergies fossiles ou nucléaire, « *constitue un processus à la fois cognitif et technique qui repose sur des savoirs et des connaissances (techniques, mais aussi profanes), des représentations (autour des enjeux, des valeurs portées par la technique), des arbitrages (économiques, politiques, organisationnels…), l'appartenance à des réseaux sociaux, …* ».

Ainsi, si nous faisons l'hypothèse que le partage de connaissances relatives à la soutenabilité est une condition nécessaire à la mise en place des changements vers une diminution des impacts environnementaux et une amélioration de la résilience de nos sociétés, nous rejoignons F. Jany-Catrice et D. Meda sur le fait qu'il ne s'agit pas de mettre en place des démarches "top-down" de diffusion de la connaissance, mais que seules des démarches telles que des forums hybrides, qui font une large place au débat public, tout en ne fermant pas la porte à une légitimation plus classique de la connaissance, puissent satisfaire le besoin de légitimité particulièrement nécessaire pour les connaissances environnementales (Jany-Catrice, Meda 2011).

Ces échanges entre citoyens, acteurs locaux et "experts" nous semblent particulièrement nécessaires dans le cadre de l'évaluation environnementale dans un contexte d'aide à la décision. En effet, l'évaluation environnementale, et plus largement comme nous le verrons par la suite l'évaluation de la soutenabilité, se situe en général, et ce de manière souvent implicite, dans une perspective d'aide à la décision. Cependant, il nous semble que, sous le même vocable "d'aide à la décision", se cachent des partis pris très différents entre l'aide à la décision "classique" et l'aide à la décision dans une perspective de prise en compte de l'environnement. En effet, l'aide à la décision classique regroupe des travaux, issus de diverses disciplines (économie, génie industriel, mathématiques, etc.), mais qui possèdent en commun l'objectif d'une modélisation des mécanismes et critères de décision sous la forme d'une formalisation mathématique, parfois très complexe, mais n'hésitant pas à "simplifier" le réel pour le représenter sous forme mathématique. Cette formalisation permet ensuite

l'utilisation de méthodes d'optimisation sur un ensemble fermé de critères (via différentes méthodes : recherche opérationnelle, théorie des jeux, analyses multicritères, etc.). Dans le domaine des sciences de l'environnement, l'objectif final est différent : il s'agit au contraire d'amener les décideurs à prendre en compte des critères de décision qu'ils ne prendraient pas spontanément en compte, mais également de leur faire prendre conscience que la liste des critères à prendre en compte est ouverte et peut être susceptible d'être modifiée en fonction de l'évolution des connaissances. Ainsi, l'enjeu en termes de recherche n'est pas seulement de développer des méthodes complexes de formalisation mathématique et d'optimisation, mais également d'aider les acteurs à identifier de "nouveaux" critères à prendre en compte dans leurs décisions. Pour cela, l'objectif est alors plutôt de proposer des outils relativement simples, maniables et compréhensible par les acteurs, qui intègrent des critères d'évaluation qui aillent bien au-delà du triptyque classique d'évaluation "coût / qualité – technologie / délai" et qui réinterrogent les critères traditionnels d'évaluation de la "performance".

2.2 L'évaluation environnementale stratégique : des impacts aux enjeux

« C'est l'histoire d'un vieil homme qui sent sa dernière heure arriver. Il demande à ses deux aînés de lui apporter le fruit du travail qu'ils ont réalisé pendant ces dernières années. Le fils aîné arrive avec tout un troupeau de vaches et de chèvres. Le deuxième fils arrive avec une grosse et lourde pierre ronde. Le vieillard demande alors à son fils : « mais que comptes-tu faire avec cette pierre ? » Le fils lui répond : « sur cette pierre, pourront s'asseoir tous les gens qui, avant de partir sur le chemin veulent s'arrêter un moment pour réfléchir… ou alors cette pierre pourra servir de dépotoir, de lieu où l'on jette les ordures » « Très bien » dit le vieillard, « c'est toi qui seras le nouveau chef de famille »

Mohamed Nignan, Nayac, rencontré à Ouagadougou en 2003

Selon le niveau de décision auquel elles s'adressent, les informations à transmettre dans une perspective de prise en compte de l'environnement, et par conséquent les choix méthodologiques en termes d'évaluation environnementale, différeront. Les théories des organisations associent généralement « *l'emboîtement de liens hiérarchiques et fonctionnels* » aux mécanismes de prise de décision (Burlat 1996). Une approche traditionnelle représente l'organisation selon trois niveaux hiérarchiques (stratégique, tactique et opérationnel) (Anthony, Walker 1993). Cette distinction a pour origine le vocabulaire militaire mais est à présent intégré dans le vocabulaire de la gestion industrielle et, plus généralement, de l'aide à la décision.

Le **niveau stratégique** gère les relations de l'organisation avec l'environnement extérieur, coordonne les différentes tactiques mises en œuvre afin de les faire converger vers des buts communs (Van Gigch 1987). L'Office Québecois de la langue française définit la stratégie comme l' « *ensemble des choix d'objectifs et de moyens qui orientent à moyen et à long termes les activités d'une personne, d'un groupe, d'une entreprise ou d'un organisme* » (Office Québecois de la Langue Française 2006). Dans la théorie des systèmes, le processus de décision se déroulant à ce niveau est qualifié de *planification* (Le Moigne 1973) ou *planification stratégique* (Anthony, Walker 1993). Il s'agit de définir les buts de l'organisation et ses stratégies pour les atteindre. Pour R. ANTHONY, la stratégie est la ligne de conduite qu'une organisation adopte pour atteindre ses buts. Elle inclut l'assignation des responsabilités globales pour sa mise en œuvre (Anthony, Walker 1993). Cette notion de planification présuppose une vision sur le long terme des objectifs et de l'évolution de l'organisation.

Terme également issu du vocabulaire militaire et adopté par les sciences de gestion, la tactique peut être définie comme « *l'ensemble de moyens concrets coordonnés d'une façon plus ou moins lâche, inventés au gré des circonstances, auxquels on a recours pour en arriver au but ou au résultat désirés à l'occasion d'une négociation ou d'un débat* » (Office Québecois de la Langue Française 2006). Le **niveau tactique** assure la cohésion de l'organisation et fédère les interactions des unités élémentaires du niveau opérationnel pour obtenir le résultat voulu par la stratégie. Les décisions tactiques consistent à définir les moyens et modifier les actions spécifiques pour s'adapter aux incidents de parcours afin d'atteindre, dans la pratique, les objectifs globaux fixés au niveau stratégique. C'est à ce niveau que s'effectue le *pilotage* (Le Moigne 1973) ou le *contrôle de gestion* (Anthony, Walker 1993) qui peut être défini comme le processus par lequel les managers influencent d'autres membres de l'organisation pour appliquer les stratégies. Ce niveau implique une vision de moyen terme, suffisamment flexible pour s'adapter en fonction de l'évolution du contexte rencontré.

Le **niveau opérationnel** accomplit les fonctions principales pour lesquelles l'organisation existe. Il participe directement à l'atteinte de ses objectifs explicites. Pour réguler ce niveau, le *contrôle des tâches* consiste à s'assurer que les tâches spécifiques sont exécutées avec efficacité et efficience. Il est orienté sur les transactions et s'intéresse aux tâches individuelles (Anthony, Walker 1993). L'horizon temporel considéré est plutôt le court terme.

Les tableaux suivants précisent le type d'information sollicité à chaque niveau hiérarchique. Le Tableau 3 montre les différences entre les trois types de processus correspondant à la prise de décision à chaque niveau hiérarchique (Anthony, Walker 1993) tandis que le Tableau 4 caractérise les informations mobilisées au cours de ces trois processus.

	Planification stratégique	Contrôle de gestion	Contrôle des tâches
Focalisation	Un thème à la fois	Toute l'organisation	Chaque tâche distincte
Nature du problème	Difficile à identifier Non structuré Nombreuses possibilités Relations causales obscures	Existence de précédents Beaucoup de répétitions Des possibilités limitées Certaines parties programmées	Règles prescrites Modèles mathématiques
Critères	Sociaux et économiques	Efficacité (évaluation des résultats par rapport aux objectifs) et efficience	Efficience (évaluation des résultats par rapport aux moyens)
Contraintes	Aucune a priori	Généralement exprimées dans la stratégie	Très contraintes
Horizon de planification	Aussi loin que prévisible	Les prochaines années Accent sur un an	Futur immédiat
Processus de décision	Un peu d'analyse formelle Essentiellement du jugement Du temps pour l'approfondissement De nombreuses itérations Irrégulier	Beaucoup d'analyses formelles Des échéances Beaucoup d'itérations rythmées	Suit des règles Du jugement si les règles sont inadéquates Répétitif
Résultat final	Souvent une seule décision Des buts, des politiques, des stratégies	Plan exhaustif pour toute l'entité	Actions spécifiques
Evaluation	Subjective, difficile Sur longue période	Moins difficile, Au moins annuelle	Généralement très précise Immédiate

Tableau 3. Nature des problèmes et décisions caractéristiques des activités de planification et contrôle (traduit de (Anthony, Walker 1993)**)**

	Planification stratégique	Contrôle de gestion	Contrôle des tâches
Structure	Essentiellement non systématique, sur mesure	A la fois formelle et informelle	Essentiellement systématique
Nature de l'information	Avant tout externe sur l'environnement Orientée vers le futur Résultats attendus	A la base financière Externe et interne Prévisionnelle et réelle Résultats attendus et désirés	Essentiellement non financière Interne Réelle Modèle des opérations
Focalisation	Sujet en cours d'étude Programmes Non hiérarchique	A la fois programme et centre de responsabilité Hiérarchique	Transactions spécifiques Non hiérarchique
Quantité	Beaucoup de données pour l'analyse Peu de données pour la prise de décision	Résumés Exceptions	Détails
Précision	Grossière	Raisonnablement exact	Exact
Vitesse	La rapidité n'est généralement pas cruciale	Rapidité plus importante qu'exactitude	En temps réel
Données stockées	Relativement peu importantes	Importantes	Importantes

Tableau 4. Nature des systèmes et des informations caractéristiques des activités de planification et contrôle (traduit de (Anthony, Walker 1993)**)**

Ces notions, empruntées aux sciences de gestion et à la théorie des systèmes peuvent sembler datées, mais elles nous semblent globalement rester d'actualité dans les organisations françaises et pertinentes y compris pour le sujet de l'évaluation environnementale.

Pour transposer ces notions au domaine de l'évaluation environnementale, des méthodes d'évaluation environnementale différentes devront être choisies selon que l'on souhaite apporter des informations nécessaires à une meilleure prise en compte de l'environnement aux niveaux stratégique, tactique ou opérationnel. Le tableau ci-dessous propose quelques exemples de méthodes d'évaluation qui nous paraissent adaptées aux différents niveaux hiérarchiques.

	Planification stratégique	**Niveau tactique**	**Niveau opérationnel**
Territoire	Bilan des émissions de gaz à effet de serre du territoire	Analyse des concentrations, du territoire, en polluants atmosphériques obtenus sur une longue période en fonction de différents paramètres (météo, activité, jour de la semaine, etc.)	Suivi quotidien, voire horaire, des concentrations en polluants atmosphériques (ozone, dioxyde d'azote, etc.)
Produit	ACV conséquentielle	ACV pour amélioration d'un produit	Suivi des rebuts (déchets) générés par la fabrication
Site industriel / organisation	Etude d'impact	Analyse des indicateurs de suivi obtenus sur une longue période en fonction des paramètres de fonctionnement de l'installation	Suivi quotidien de la qualité des effluents d'une installation (ex. : DBO_5, DCO)

Tableau 5. Exemple de méthodes d'évaluation environnementale positionnées selon les différents niveaux hiérarchiques

Nos travaux de recherche se situent principalement dans la prise en compte de l'environnement au niveau stratégique. La notion *d'évaluation environnementale stratégique* est définie dans la littérature francophone, principalement par des auteurs québécois (tels que P. André et J.P. Waaub, par exemple). Nous ferons donc un détour pour en présenter ses fondements théoriques. Les travaux sur ce sujet proviennent principalement d'Amérique du Nord, Australie, Nouvelle Zélande, Hollande et de la Commission Européenne (Gauthier, Simard & Waaub 2011).

Cette notion n'est pas nouvelle : elle a été inscrite dans la législation américaine dès 1969. Il n'existe cependant pas de définition uniformisée de l'évaluation environnementale stratégique (EES) (Waaub 2012). Fondamentalement, elle s'inscrit dans une démarche planificatrice et soulève la question de la participation des publics concernés afin d'introduire dans les débats des informations pertinentes pour les processus de prise de décision collectifs. Cela peut accroître la crédibilité des plans et programmes proposés (Gauthier, Simard & Waaub 2011). Elle s'applique à des projets concernant le territoire, en amont de leur mise en œuvre.

Suivant L. Brown et R. Thérivel (2000), J.P. Waaub définit l'évaluation environnementale stratégique comme « *un processus dont la finalité est de fournir au proposeur (durant la formulation de la politique) et au décideur (au moment de l'approbation de la politique) une compréhension globale des implications environnementales et sociales de la politique proposée, élargissant la portée des enjeux bien au-delà des déterminants à l'origine de cette politique* » (Waaub 2012).

En tant que démarches planificatrices, les méthodologies d'EES peuvent être classées en trois grandes catégories d'approches : la planification rationnelle globale, la planification stratégique et la planification concertée (Waaub 2012).

- **La planification rationnelle globale**

Cette approche repose sur l'émergence d'une vision globale d'une situation, appuyée sur les connaissances scientifiques. Elle met en œuvre des outils permettant d'atteindre des buts précis (Waaub 2012). Elle reflète ainsi une vision positiviste et déterministe du monde, basée sur une logique linéaire. La communication ne se fait qu'entre les experts et les décideurs, aucune communication extérieure n'étant jugée utile (Waaub 2012). Ainsi, la participation du public n'entre en jeu que dans les dernières étapes du processus de planification, après l'évaluation environnementale (Gauthier, Simard & Waaub 2011). Cela confère à la participation un rôle de validation a posteriori d'un processus de décision déjà "ficelé", et d'une vérification a posteriori de l'acceptabilité sociale du projet afin d'éventuellement négocier des mesures de compensation ou de réduction des impacts (Gauthier, Simard & Waaub 2011). Ce modèle est ainsi non seulement confronté aux limites de la connaissance scientifique, mais également aux difficultés de la prise en compte de la complexité des systèmes humains. L'élaboration des plans et programmes est ainsi longue et coûteuse, produisant souvent des écarts importants entre les idées initiales et les résultats finaux (Waaub 2012). Peu mobilisateur car donnant un rôle ingrat au public souhaitant participer, ce modèle s'avère impuissant pour faire émerger des solutions consensuelles en cas de conflits entre des intérêts multiples et divergents (Gauthier, Simard & Waaub 2011).

- **La planification stratégique**

Ayant pour vocation de répondre aux critiques énoncées ci-dessus, elle implique la mise en place d'une démarche itérative, évaluative, ex ante et ex post, et adaptative. Elle présuppose néanmoins une certaine supériorité des experts qui s'appuient sur des ressources internes et externes pour proposer des modèles cognitifs (Waaub 2012).

- **La planification concertée** ("interactive planning stream")

Ayant pour objectif de donner une place centrale aux acteurs, elle s'appuie sur une dynamique d'interaction entre les acteurs (Waaub 2012), dans une logique constructiviste qui vise à faire émerger des connaissances dans l'action (Gauthier, Simard & Waaub 2011). Elle est donc supposée favoriser l'émergence de solutions originales et de choix collectifs basés sur la négociation prenant en compte des enjeux potentiellement divergents. Cette approche correspond ainsi aux principes de la gestion intégrée et négociée de l'environnement, des ressources et du territoire. Le processus de planification est ouvert, aux différentes étapes, à

tous les acteurs afin de ne pas occulter les enjeux de pouvoir. Les différents enjeux doivent être abordés, ainsi que les problèmes organisationnels et les relations entre acteurs. La flexibilité et l'adaptabilité sont favorisées. Cette approche de démocratie participative est donc supposée compléter la démocratie représentative pour lui conférer une nouvelle légitimité (Waaub 2012).

Evaluation environnementale stratégique et participation du public apparaissent donc comme intimement liées. La participation du public peut ainsi être définie comme un processus à double sens qui vise à transmettre au public une bonne connaissance des procédés et mécanismes par lesquels l'agence responsable étudie et résout les problèmes environnementaux que pose le projet (ou plan, programme ou politique) concerné, qui informe le public des avancées des études et des implications du projet, (ou plan, programme ou politique) concerné, et qui sollicite activement l'avis des citoyens concernés sur leurs objectifs, besoins et préférences concernant l'utilisation des ressources, les différentes alternatives possibles et les stratégies de management, ainsi que toute autre information relative à la décision finale (Gauthier, Simard & Waaub 2011).

Afin de permettre cet échange entre citoyens et porteurs du projet, I. B. Guedegbe définit l'évaluation environnementale stratégique comme « *une procédure d'évaluation préalable de Politique, Plan et Programme (PPP) visant à :*

- *Expliciter les enjeux environnementaux et sociaux*
- *Apprécier la cohérence des PPP au regard de l'environnement et entre eux,*
- *Préparer les évaluations ex post de même que les évaluations environnementales de projets éventuels.* » (Guedegbe 2012)

Cette définition introduit ainsi la notion **d'enjeu environnemental** qui nous semble mériter d'être précisée. Dans le sens commun, un enjeu est « *Ce que l'on risque de gagner ou de perdre dans une compétition*.» (Brugere-Trélat 1984). Selon (Brugere-Trélat 1984), un enjeu est ce qui est « *en jeu* ».

Dans le domaine des **risques**, cette notion **d'enjeu** est définie dans un contexte réglementaire. Le Ministère de l'aménagement du territoire et de l'Environnement définit ainsi un enjeu comme :

« *1. Personnes, biens, équipements, environnement menacés par l'aléa et susceptibles de subir des préjudices ou des dommages*

2. Personnes, biens, activités, moyens, patrimoine, etc. susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel et de subir des préjudices ou des dommages. » (Griot, Ayral 2001)

Dans ce domaine, *l'enjeu* doit ainsi se combiner à un *aléa* pour générer un *risque*. A la notion d'enjeu, est donc liée celle de **vulnérabilité**, c'est-à-dire « *la sensibilité plus ou moins forte d'un enjeu à un aléa donné. Par extension, on parle aussi de la vulnérabilité d'un élément de territoire regroupant plusieurs natures d'enjeux* » (Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques -SEI Direction Générale de l'Urbanisme, de l'Habitat et de la Construction 2007).

Dans l'esprit du législateur, les enjeux visés sont essentiellement humains : « *l'État élabore et met en œuvre des plans de prévention des risques technologiques qui ont pour objet de limiter les effets d'accidents susceptibles de survenir dans les installations (…) et pouvant entraîner des effets sur la salubrité, la santé et la sécurité publiques directement ou par pollution du milieu* » [article L. 515-15 du code de l'environnement] (Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques -SEI Direction Générale de l'Urbanisme, de l'Habitat et de la Construction 2007). Le terme "*vulnérabilité*" s'applique donc surtout à « *la situation de vulnérabilité des personnes* » potentiellement exposées à des aléas.

Dans le domaine de **l'environnement**, la notion d'enjeu a été définie par (André 1999) comme « *une préoccupation majeure qui peut faire pencher la balance en faveur ou en défaveur d'un projet* ».

La notion d'enjeu environnemental nous paraît donc plus large que celle utilisée dans le domaine des risques. On conserve cependant l'idée d'un domaine environnemental susceptible d'être menacé, par un aléa, mais également par la dégradation d'un ou plusieurs écosystèmes ou équilibres naturels. Selon I.B. Guedegbe (2012), un enjeu environnemental désigne ainsi « *la valeur prise par une fonction ou un usage, un territoire ou un milieu, au regard des préoccupations écologiques, patrimoniales, sociologiques, de qualité de la vie et de la santé* ». Définir un enjeu, c'est déterminer « *les biens, les valeurs et fonctions environnementales qu'il n'est pas acceptable de voir disparaître ou se dégrader, disparition ou dégradation pour lesquelles aucune compensation ne saurait être trouvée* » (Guedegbe 2012).

(De Caevel, Ooms 2005) proposent la typologie suivante des enjeux environnementaux :

- **Changement climatique**
    - Augmentation de l'effet de serre
    - Destruction de la couche d'ozone stratosphérique
    - Emission d'aérosols persistants

- **Effets sur la nature et la biodiversité**, qui concernent la perte de biodiversité et l'altération du paysage causées par l'activité humaine
    - L'Eau comme vecteur de transmission, peut présenter plusieurs types de pollutions : pollution par les matières organiques, pollution microbiologique, pollution par les hydrocarbures, pollution par les pesticides, pollution par les nitrates des eaux souterraines, eutrophisation des eaux de surface (apport excessif en nitrates et phosphates), pollution métallique, modification des paramètres physico-chimique de l'eau (T°, Salinité et PH), pollution par les déchets solides
    - L'air comme vecteur de transmission, fait l'objet de nombreux polluants tels que les poussières, le SO2, les Nox, le CO, les métaux lourds, les composés organiques volatils, le fluor, l'acide chlorhydrique, etc... auxquels sont venus plus récemment s'ajouter d'autres substances telles que les gaz à effet de serre et l'ozone, les organochlorés (dioxines et furannes), les HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques), etc.

- Le sol, comme vecteur de transmission, présente quatre types de menaces : le changement d'affectation des sols, l'accumulation de polluants toxiques, l'acidification des sols et les problèmes d'érosion.

- **Effets sur la santé humaine**
  - Toxicité humaine par polluant : inhalation, ingestion ou contact direct de substances toxiques pour l'homme.
  - Smog photochimique (brouillard jaune/noir au dessus des villes) : production excessive d'ozone troposphérique et accumulation de particules en suspension.
  - Destruction de la couche d'ozone : exposition accrue aux ultraviolets solaires.
  - Exposition au bruit et aux odeurs

- **L'utilisation excessive de ressources naturelles**
  - L'utilisation excessive de ressources naturelles renouvelables (telles que la diminution des réserves en poissons due à l'intensification de la pêche, la déforestation pour augmenter les surfaces cultivables ou exploiter les produits de la forêt, l'utilisation intensive des sols arables, la difficulté d'accès à l'eau potable et la chasse et le braconnage d'espèces en voie de disparition)
  - L'utilisation excessive de ressources naturelles non renouvelables (fossiles, minérales et métalliques)

Cette classification nous semble relativement exhaustive et cohérente avec celles proposées par les différentes méthodes d'évaluation des impacts utilisées en analyse de cycle de vie (ACV), méthode d'évaluation environnementale qui « *consiste à évaluer tous les impacts environnementaux potentiels d'un système (un produit voire aussi un procédé ou un service) assurant une (ou plusieurs) fonction(s), le long de son cycle de vie* » (Rousseaux 2005). L'ACV distingue la notion d'impacts de celle de dommages. Un impact environnemental peut être défini comme « *l'effet d'un flux sur un système environnemental* » (Rousseaux, Villien & Navarro 1996). La notion de dommage regroupe plusieurs impacts contribuant à des effets comparables sur l'environnement, ce qui implique une modélisation des différents effets des différents impacts sur un domaine environnemental donné (santé humaine, écosystèmes, par exemple) (Goedkoop, Spriensma 2001). Cette notion de dommage peut donc être rapprochée de celle d'enjeu environnemental.

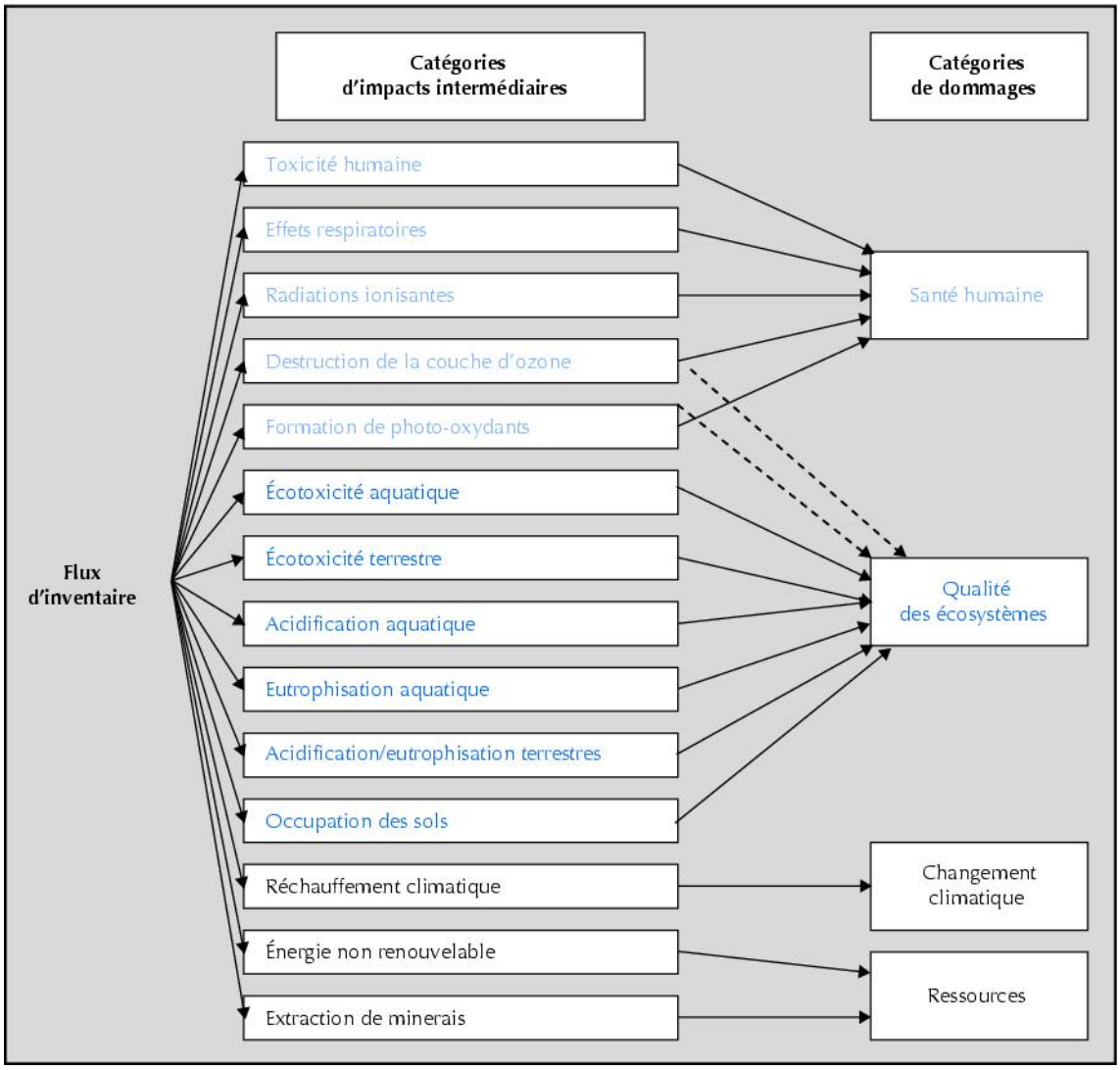


Figure 13. Typologie des impacts intermédiaires et dommages selon IMPACT 2002 + (d'après (Humbert et al. 2012)

En particulier, les principales méthodes permettant d'aller jusqu'à une évaluation "orientée dommages" telles que IMPACT 2002+ (Humbert et al. 2012) ou Eco-indicator 99 (Goedkoop, Spriensma 2001) sont également basées sur une répartition des dommages en quatre grandes catégories :

- **Qualité des écosystèmes** (catégories présentes dans Eco-indicator 99 et Impact 2002+, avec des définitions cependant différentes dans les deux méthodes)
- **L'utilisation des ressources** (fossiles et minérales dans le cadre d'Ecoindicator 99 ; non renouvelables et minérales pour IMPACT 2002+)
- **Effets sur la santé humaine** (catégorie également présente dans les deux méthodes avec des définitions des calculs différentes : par exemple, Eco-indicator99 + intègre sur ce thème certaines des conséquences du changement climatique).
- Le **changement climatique** est identifié comme dommage en tant que tel par IMPACT 2002 + mais pas par Eco-indicator 99.

Notons que, dans le cadre de l'ISO 26000, référentiel qui donne un cadre à la prise en compte de la responsabilité sociétale par les entreprises, la notion d'enjeu n'est pas spécifiquement nommée, mais est sous-jacente à l'approche proposée, reposant sur des « *questions centrales* » déclinées ensuite en « *domaines d'action* »(ISO 2010). Plus précisément, la « *question centrale* » intitulée « *l'environnement et la responsabilité sociétale* » est également déclinée en quatre « *domaines d'actions* » proches des typologies d'enjeux proposées par les méthodes d'évaluation d'ACV (ISO 2010) :

- **Prévention de la pollution** (qui peut être considérée, aux yeux de l'entreprise, comme le pendant de la protection de la qualité des écosystèmes et de la santé humaine)
- **Utilisation durable des ressources**
- **Atténuation des changements climatiques et adaptation**
- **Protection de l'environnement, biodiversité et réhabilitation des habitats naturels** (liée à la qualité des écosystèmes)

Les enjeux environnementaux se déclinent selon différentes échelles, selon la nature et l'étendue de leurs impacts. Trois échelles sont généralement considérées : l'échelle globale, l'échelle régionale et l'échelle locale (Brodhag, 2000). Les impacts dits "globaux" (traduction abusive de l'anglais « global ») ou, plus exactement, en français, "planétaires" regroupent des impacts ayant des effets potentiels à l'échelle de la planète, qui ne se feront ressentir que dans des dizaines d'années, et probablement dans d'autres territoires que ceux où sont générées les émissions polluantes. On peut ainsi citer comme exemple la dégradation de la couche d'ozone, et les changements climatiques associés aux émissions de gaz à effet de serre. A l'échelle régionale, l'échelle temporelle est de l'ordre d'une à quelques années entre les émissions et les effets, et l'échelle géographique est de l'ordre des pays ou des continents (acidification des pluies, par exemple). Pour l'échelle locale, l'échelle temporelle varie entre l'immédiat et quelques années (même si, une fois les effets établis, ceux–ci peuvent perdurer beaucoup plus longtemps) et les effets sont constatables sur le territoire (commune, département, région) où la pollution est générée (eutrophisation, pollution atmosphérique photochimique, par exemple).

L'évaluation environnementale stratégique doit donc répondre au double défi de permettre la participation du public ainsi que la prise en compte d'enjeux environnementaux divers tant par leur nature que par leur échelle temporelle et géographique. Ces deux défis ne sont pas sans contradiction. En effet, les processus de planification basés sur la participation prennent principalement en compte les enjeux portés par les « *acteurs forts* » présents dans les processus de négociation, c'est-à-dire « *en tenant essentiellement en compte des humains contemporains* » (Sebastien 2006). Les *acteurs absents* restent bien souvent les grands oubliés de ces processus de planification. Si, dans un contexte multi-acteurs, les procédures de planification concertée, basée sur le principe de la négociation entre acteurs, peuvent permettre de résoudre des conflits, elles montrent leurs faiblesses lorsqu'elles aspirent à gérer une ressource naturelle selon les principes du développement durable (Sebastien 2006).

Dans ce cas, comment prendre en compte les acteurs absents, ceux qui n'ont pas la parole ainsi que les valeurs morales afin d'éviter qu'un consensus entre acteurs forts amène à la dégradation d'un bien environnemental (Sebastien 2006) ? Certains enjeux environnementaux, directement liés à la qualité de vie des milieux habités ou utilisés par les acteurs forts, peuvent être portés dans les débats par certains acteurs (associations de protection de la nature, de pêche, etc.). Mais la tâche de représentation devient encore plus ardue lorsque les enjeux sont planétaires. Il est en effet, dans ce cas, difficile d'identifier des acteurs sur le territoire qui se sentent personnellement impliqués pour passer du temps dans des négociations pour défendre (généralement bénévolement !) des enjeux qui ne les touchent pas personnellement. Pourtant, comme l'exprime le credo « *penser global, agir local* », « *Il faut faire attention à ce que le local et le global soient en équilibre. La vision du monde de demain comme un monde plus juste, plus soutenable, plus sage, ne peut être que globale. Mais la réalisation, l'action qui contribuent à un tel monde ne peuvent être que locales.* » (Hessel 2011).

La reconnaissance de ces limites ne vise pas à remettre en cause les processus de participation qui, s'ils sont bien conduits et pris en compte dans la décision publique[5], pourraient permettre de mieux tenir compte, dans les processus décisionnels, des points de vue des différents acteurs concernés. En outre, nous pensons qu'ils pourraient amener ces différents acteurs, à prendre conscience des différents enjeux économiques, sociaux et environnementaux, impliqués par le projet en question. Nous faisons l'hypothèse que l'évaluation environnementale est un des moyens d'intégrer, dans ces processus, les différents enjeux environnementaux, qu'ils soient planétaires ou locaux, de long ou court termes afin de mieux identifier les conséquences globales de décisions publiques (en termes de mode de vie et de faire, par exemple).

2.3 La comptabilité environnementale pour représenter les enjeux environnementaux

« *Je suis riche de ça,*
mais ça ne s'achète pas. »

Jean-Jacques Goldman, *Je marche seul*, 1985

Comme nous avons déjà eu l'occasion de le préciser, nos travaux de recherche portent principalement sur l'échelle "micro", au niveau de l'organisation. Nous les positionnons dans le cadre des réflexions sur l'évaluation de la soutenabilité de nos modes de production et de

[5] Ce qui, nous l'accordons, n'est pas toujours le cas en France, pays où la culture de la démocratie directe, pour reprendre le terme de J.P. Waaub, n'est pas (encore ?) partagée au sein des décideurs publics et privés, et où les procédures de démocratie participative ne sont pas réellement intégréeq dès le début de la réflexion des projets.

consommation. Historiquement, cependant, la question de l'évaluation de la soutenabilité a été initiée au niveau "macro", et en particulier au niveau de l'évaluation des nations. Nous nous permettons donc de rappeler ci-dessous quelques étapes et points saillants de ces réflexions.

Le système de comptabilité nationale actuel, a été mis en place suite à la seconde guerre mondiale afin de répondre aux enjeux soulevés par la reconstruction. Depuis le milieu des années 1990, de nombreuses voix s'élèvent pour souligner que les moyens d'évaluation des politiques publiques mis en place dans ce cadre s'avèrent aujourd'hui insuffisants pour représenter les problématiques environnementales et sociales (Meda 1999). Dans un premier temps, ce discours critique sur le système de comptabilité nationale émanait initialement des sphères académiques et intellectuelles (voir par exemple les travaux de Dominique Méda(Meda 1999), Patrick Viveret (Viveret 2003), Jean Gadrey et Florence Jany Catrice (Gadrey, Jany-Catrice 2005) pour ne citer que des auteurs français). Suite à ces travaux, de nombreuses initiatives issues de la société civile ont visé à impliquer les citoyens dans le débat sur les limites des indicateurs et à l'élaboration de nouveaux indicateurs de richesses (Jany-Catrice, Meda 2011). En 2008, cette contestation a été reprise à son compte par la sphère politique avec la création de la Commission pour la Mesure des Performances Economiques et du Progrès Social, dite "Commission Stiglitz" rassemblant une vingtaine "d'experts", principalement issus des sciences économiques, et 11 rapporteurs issus de l'administration. Les travaux de cette commission ont donné lieu à la publication, en 2009, d'un rapport sur la Mesure des Performances Economiques et du Progrès Social (Stiglitz, Sen & Fitoussi 2009) qui reconnaît largement les limites du PIB en tant qu'indicateur des performances économiques et du progrès social. Cependant, la procédure mise en place dans le cadre de cette réflexion n'a pas réellement cherché à associer les citoyens pour une réflexion collective sur la notion de progrès (Jany-Catrice, Meda 2011). D'autre part, ce rapport reste timide quant aux mesures qu'il propose (Gadrey, Meda 2009). Force est de constater de surcroît que les mesures préconisées n'ont guère été suivies d'effets.

Au niveau international, ces constats sont partagés. Par exemple, les auteurs du rapport « *Resilient People, Resilient Planet : A Future Worth Choosing* », un panel d'experts travaillant pour le compte du secrétariat général des Nations Unies, dans le cadre de la préparation de la Conférence « Rio+20 » sur le développement durable (20 au 22 juin 2012), soulignent que pour intégrer la durabilité au sein de la prise de décision, il devient indispensable de repenser la façon dont le développement économique et le bien-être humain sont actuellement mesurés et suivis (United Nations 2012)(United Nations 2012, United Nations Environment Programme (UNEP) 2012b). Cela exige la prise en compte d'un large jeu d'indicateurs pour mesurer les dimensions non seulement économiques, mais aussi sociales et environnementales. Au niveau des nations, l'UNEP reconnaît ainsi que l'évaluation doit aller au-delà du PIB qui est aujourd'hui encore considéré comme le principal indicateur de développement. En effet, sans indicateur pour mesurer la soutenabilité de nos activités et modes de vie, il semble impossible d'atteindre des objectifs de soutenabilité, y compris pour ceux qui sont acceptés sur un plan international (United Nations 2012)(United Nations 2012, United Nations Environment Programme (UNEP) 2012b).

Dans la lignée de ces différents travaux, l'hypothèse sous-jacente à nos travaux de recherche est qu'il est nécessaire de définir des indicateurs représentant les impacts environnementaux générés par les activités humaines et d'encourager leur prise en compte dans les décisions des différents acteurs. Ceci nous semble nécessaire tant au niveau "macro" des nations qu'au niveau "micro", c'est-à-dire à l'échelle de chaque organisation (entreprises ou établissements publics).

En effet, de même que le PIB ne peut, seul, représenter le niveau de bien-être au sein d'une société, la seule évaluation de la rentabilité des projets montre largement ses limites vis-à-vis de la prise en compte des intérêts collectifs et de long terme. Nos travaux se positionnent plus particulièrement à l'échelle "micro", tout en s'inspirant de la littérature portant sur le niveau "macro" de la comptabilité nationale.

L'évaluation des impacts sur l'environnement relève de cette ouverture de la décision à la prise en compte de nouveaux critères. Elle peut être définie comme « *une procédure qui permet d'examiner les conséquences tant bénéfiques que néfastes, qu'un projet ou programme de développement envisagé aura sur l'environnement et de s'assurer que ces conséquences sont dûment prises en compte dans la conception du projet ou programme* » (OCDE 1992). Plus précisément, l'évaluation environnementale peut être définie comme une « *méthode organisée de collecte de l'information qui sert à déterminer et à comprendre les effets d'un projet sur l'environnement biophysique (air, eau, terre, plantes, animaux) ainsi que sur l'environnement humain touché par l'intervention projetée, et ce en vue d'éclairer la prise de décision* » (André, Bitondo 2001). Elle « *vise l'intégration de l'environnement dans le processus décisionnel pour atteindre les objectifs de développement durable, en facilitant la réconciliation entre les projets et l'environnement dans lequel ils s'insèrent* » (André, Bitondo 2001).

Plusieurs typologies peuvent être utilisées pour distinguer les différentes approches, complémentaires, d'évaluation environnementale. Le premier modèle, élaboré par Anthony Friend dans les années 1970s (UNEP 2006) et souvent utilisé par l'OCDE (OCDE 1993) propose un cadre basé sur les causalités : le modèle Pressions – état – réponses : les activités humaines exercent des ***pressions*** sur l'environnement et changent la qualité et la quantité de ressources naturelles (son ***état***). La société répond à ces changements par des politiques environnementales, globales et sectorielles (les ***réponses*** sociétales).

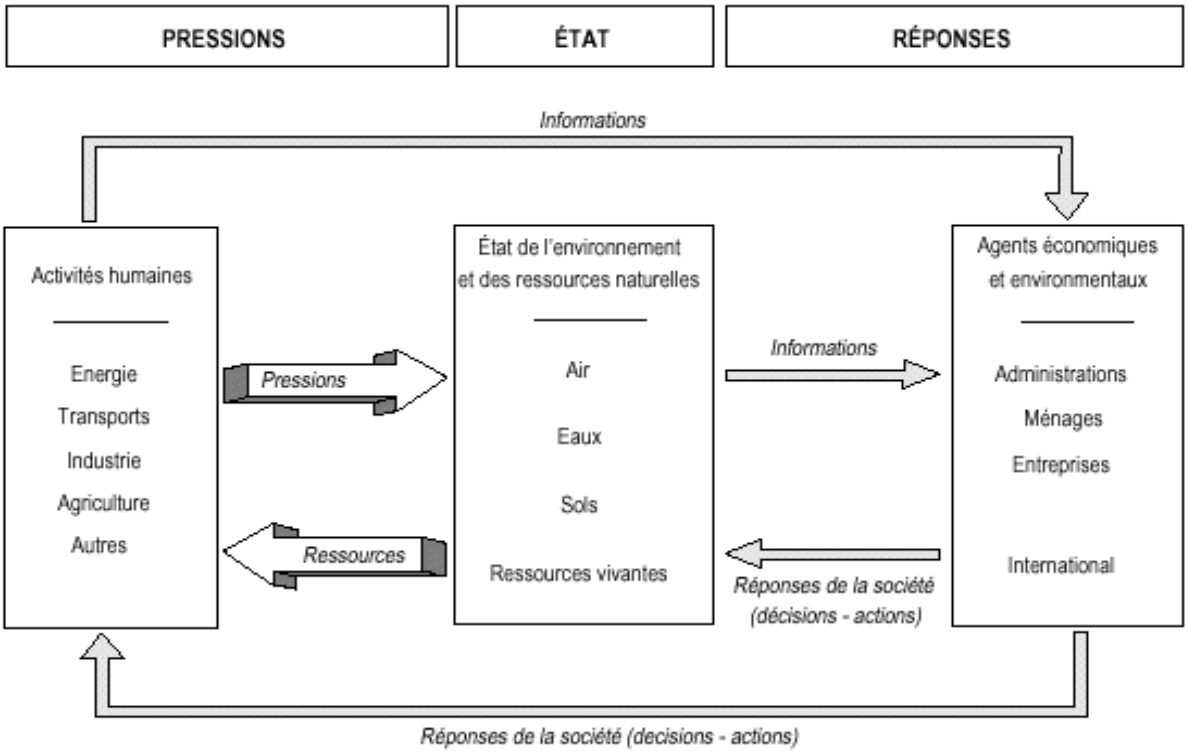


Figure 14. Modèle Pression Etat Réponse proposé par (OCDE 1993)

Ce modèle a ensuite été enrichi sous la forme du modèle DPSIR (Forces motrices – Pressions – État – Impacts – Réponses), adopté en 1998 par l'Agence Européenne de l'Environnement. La chaîne de causalité s'établit alors entre les activités économiques et sociales (« *Driving forces* ») qui exercent des « *Pressions* » (consommations, émissions, déchets) qui viennent modifier l'état (« *State* »), physique, chimique et biologique de l'environnement, générant ainsi des « Impacts » sur les écosystèmes, la santé et les fonctions humaines, conduisant éventuellement à des « *Réponses* » politiques (définition d'objectifs et de priorités environnementales, indicateurs) (Kristensen 2004).

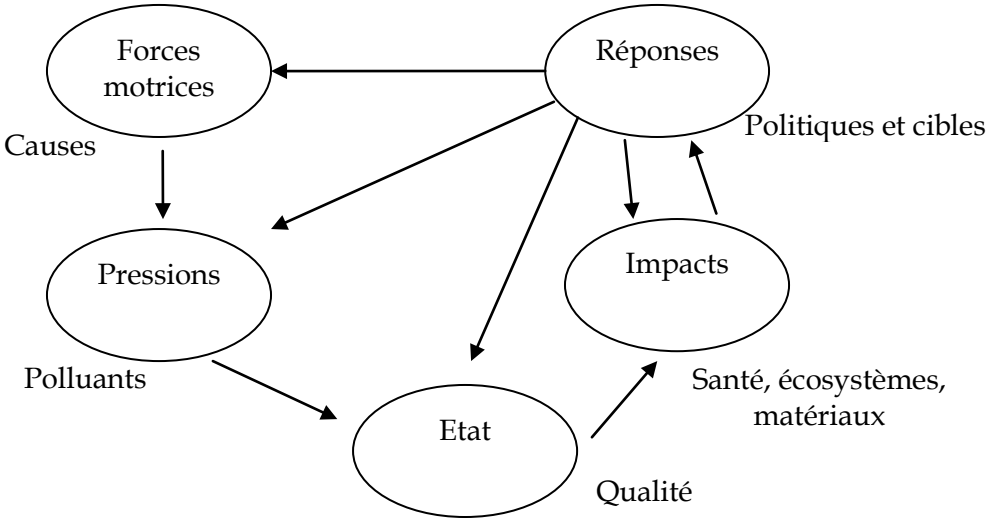


Figure 15. Le cadre d'évaluation DPSIR, traduit de (Kristensen 2004)

Ainsi, selon les objectifs en termes d'aide à la décision, les méthodes d'évaluation environnementales diffèrent.

Historiquement, ce sont les méthodologies *d'évaluation de l'état de l'environnement* qui ont été développées en premier. En effet, dès 1969, la National Environmental Policy Act (NEPA) impose la réalisation de rapports sur l'état de l'environnement aux États-Unis (Alm 1988). Cette pratique s'est généralisée au niveau mondial suite à la déclaration adoptée à la Conférence de Stockholm sur l'environnement en 1972. Les thèmes abordés portaient principalement sur l'environnement biophysique : les terres, les eaux douces, les forêts, la flore et la faune sauvages par exemple, l'homme étant alors présenté comme une menace pour l'environnement.

Un *impact* peut être défini comme « *la variation d'état d'une cible atteinte par un facteur d'impact* » (Personne, Brodhag 1999). La notion de « *facteur d'impact* » correspond ainsi au flux, émis par le « *pollueur* » (entreprise, par exemple) qui entraîne un effet potentiel. Le facteur d'impact relève donc d'une « *pression* » sur les milieux (Personne, Brodhag 1999).

L'étude de ces *pressions,* exercées par les activités humaines sur l'environnement, s'est développée dans le milieu des années 70. En particulier, la réglementation française a rendu obligatoire, par la loi n°76-629 du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature, la réalisation ex-ante d'une étude d'impacts réglementaire préalablement à la réalisation d'aménagements, d'ouvrages, ou de travaux, et plus particulièrement, à la délivrance, par l'administration, d'une autorisation à exploiter pour les installations classées pour la protection de l'environnement (Parlement Français 1976). Leur méthodologie est aujourd'hui définie, pour la France, dans le Titre II « *Information et participation des citoyens* » du Livre I « *Dispositions communes* » de la partie réglementaire du code de l'environnement, et plus particulièrement dans son article *R. 122-5 (Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable 2000).*

Historiquement, les études d'impacts réglementaires concernaient principalement les impacts environnementaux locaux. Aujourd'hui, leur définition s'étend à l'« *analyse des effets négatifs et positifs, directs et indirects, temporaires (y compris pendant la phase des travaux) et permanents, à court, moyen et long terme, du projet sur l'environnement, en particulier sur les éléments énumérés au 2° et sur la consommation énergétique, la commodité du voisinage (bruits, vibrations, odeurs, émissions lumineuses), l'hygiène, la santé, la sécurité, la salubrité publique, ainsi que l'addition et l'interaction de ces effets entre eux » (Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie 2011a).* Si les consommations énergétiques sont explicitement mentionnées dans le champ des éléments à prendre en compte, ce n'est pas le cas des émissions de polluants, atmosphériques, par exemple, ayant des impacts planétaires (altération de la couche d'ozone stratosphérique, gaz à effet de serre, etc.).

Depuis 2011 toutefois, a été mise en place par ailleurs l'obligation d'établir, *in-itinere*, des bilans d'émissions de gaz à effet de serre pour certaines collectivités locales (régions, départements, métropoles, communautés urbaines, communautés d'agglomérations et communes et communautés de communes de plus de 50 000 habitants), l'Etat, les établissements publics qui emploient plus de 250 personnes ainsi que pour les entreprises employant au moins 500 personnes en métropole et 250 personnes en outre-mer (Ministère

de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie 2011b). Cette exigence est encore récente (échéance du 31 décembre 2012 pour la publication des bilans) et aucune sanction n'est prévue en cas de non-respect de cette obligation. Il semble aujourd'hui difficile d'établir un bilan de l'impact de cette réglementation vis-à-vis de la prise en compte des émissions de gaz à effet de serre par les acteurs concernés. D'autre part, seules les émissions directes et les émissions indirectes liées à l'énergie sont concernées par l'obligation réglementaire. Le choix de présenter les émissions indirectes associées aux consommations de biens et services reste à la discrétion de l'établissement faisant son bilan. Du fait des difficultés méthodologiques posées par l'estimation des émissions sur ce périmètre élargi, il est compréhensible que ce périmètre ne soit pas rendu obligatoire par la réglementation. Cependant, du fait de l'aspect planétaire du changement climatique, une approche liée aux seules émissions directes est restrictive et ne fait pas vraiment sens pour des établissements dont l'activité relève surtout du service.

Ainsi, si l'approche réglementaire a montré ses preuves pour prendre en compte les impacts générés par les activités industrielles sur un territoire donné, elle semble aujourd'hui limitée, dans un contexte mondialisé de production industrielle, pour encourager réellement une prise en compte globale des impacts générés par les modes de production et de consommation, et plus spécifiquement par les activités d'une organisation.

Pus généralement, les méthodologies d'évaluation environnementale ont débuté par l'étude de l'état des milieux, puis se sont orientées vers l'analyse des impacts générés par des projets, ou des activités spécifiques, sur l'environnement. Elles se développent actuellement sur les interactions complexes entre l'homme et la nature pour évaluer et analyser les changements intervenus dans l'état de l'environnement (United Nations Environment Programme (UNEP) 2002). Cette approche s'est, entre autres, traduite, depuis 2001, par le développement de la méthode d'évaluation des services d'origine écosystémique, utilisée dans le cadre de l'évaluation des Écosystèmes pour le Millénaire. Cette approche a pour objectif de préciser, et dans la mesure du possible, quantifier les services que procurent les écosystèmes aux humains. Plusieurs types de services sont ainsi définis : services de prélèvement (nourriture, eau, bois de construction, et fibres) ; services de régulation qui concernent le climat, les inondations, les maladies, l'assimilation des déchets, et le maintien de la qualité de l'eau ; des services culturels (bénéfices récréatifs, esthétiques, et spirituels) ; et des services d'auto-entretien tels que la formation des sols, la photosynthèse, et le cycle nutritif (Millennium Ecosystem Assessment 2005).

Les liens entre les services écosystémiques et les composantes du bien-être humain sont représentés dans la figure suivante.

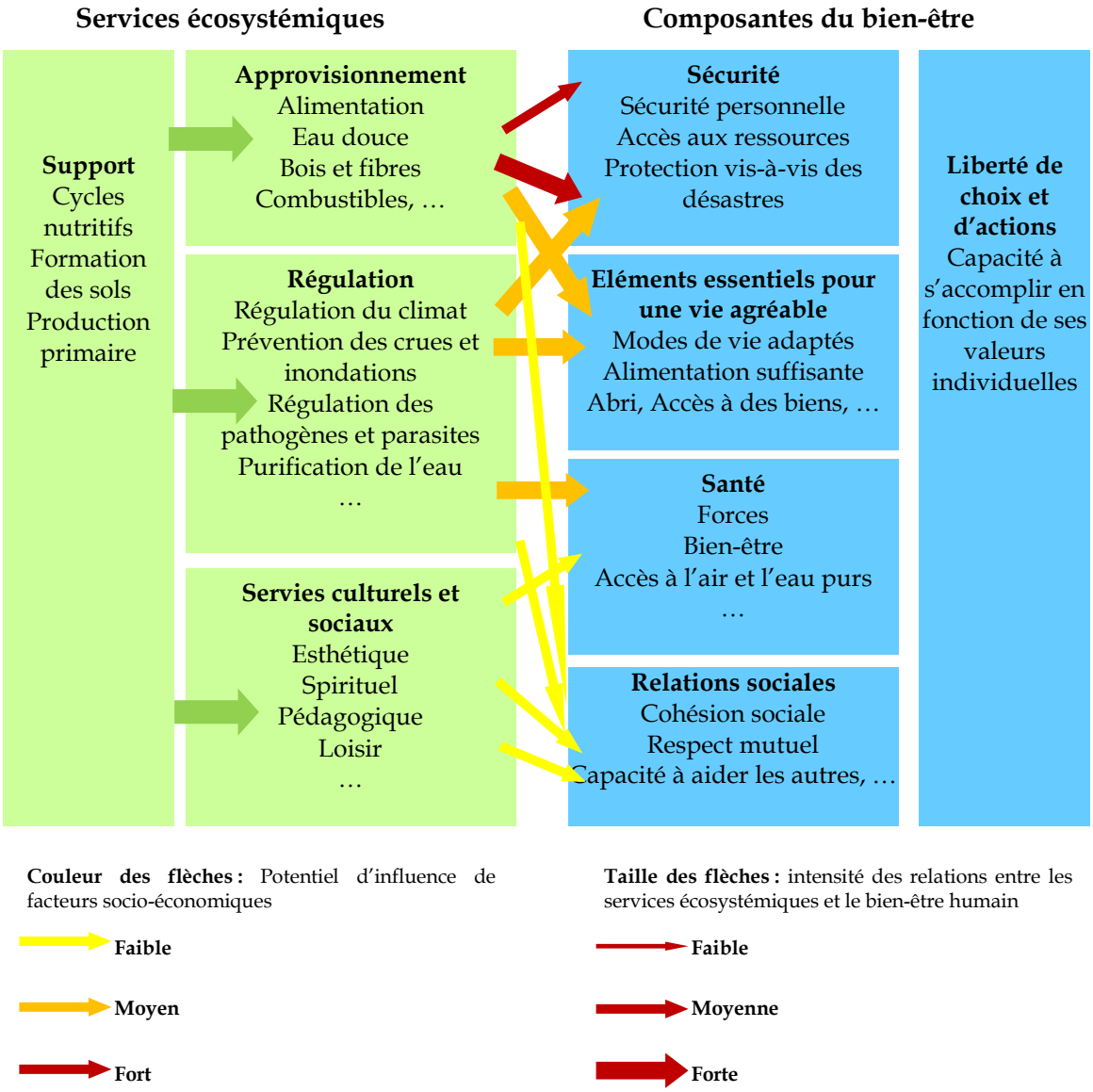


Figure 16. Cadre conceptuel des interactions entre services d'origine écosystémique et le Bien-être de l'Homme (traduit de (Millennium Ecosystem Assessment 2005) **)**

Le cadre conceptuel de l'évaluation des services écosystémiques postule que « *les hommes sont partie intégrante des écosystèmes et qu'il existe une interaction dynamique entre ces hommes et d'autres éléments de ces écosystèmes. La condition humaine est sujette à des variations occasionnant aussi bien directement qu'indirectement des changements au niveau des écosystèmes, et ce faisant, provoquant des modifications du bien-être de l'Homme* » (Millennium Ecosystem Assessment 2005). Son objectif n'est donc pas uniquement une évaluation intrinsèque de l'état de l'environnement, mais bel et bien l'analyse des relations entre l'Homme et l'environnement. Pour cela, elle vise à préciser les conditions actuelles des services d'origine écosystémique et du bien-être de l'Homme, ainsi que leurs évolutions, dans une perspective de sensibilisation et d'information des décideurs afin d'accroître le bien-être et d'assurer la conservation des écosystèmes.

La méthode d'évaluation des services rendus par les écosystèmes a ainsi permis de définir une nomenclature de ces services, généralement composée par 14 services d'approvisionnement (production de biens), 15 services de régulation (production de services) et 13 services à caractère social et culturel (production de services).

Une étude exploratoire pour l'utilisation de cette méthode en France a identifié un ensemble d'outils méthodologiques nécessaires à la mise en œuvre d'une évaluation des services écosystémiques en France (ASCONIT Consultants et al. 2009) :

- Une typologie des écosystèmes français, basés sur 6 types d'écosystèmes terrestres, 4 types d'écosystèmes d'eau douce continentale et 4 types d'écosystèmes marins, pouvant être cartographiés grâce à la base de données CORINE Land Cover,
- Un jeu d'indicateurs d'état des écosystèmes,
- Une grille des services écosystémiques, basée sur la nomenclature évoquée ci-dessus,
- La caractérisation des services écosystémiques et de leurs déterminants socio-économiques,
- Une méthode de quantification des services écosystémiques qui permet d'établir des correspondances entre les services rendus et chaque type d'écosystème « *producteur* » ;
- Une série d'indicateurs permettant d'estimer la contribution des différents types d'écosystèmes au bien-être humain à travers les services.

A l'heure actuelle, cette méthode n'est pas encore officiellement utilisée en France comme méthode de mesure de la contribution des écosystèmes au bien-être humain. Cependant, cette méthode suscite aujourd'hui un intérêt certain dans le domaine de la recherche, et elle va probablement donner lieu dans les années à venir à de nombreux travaux de recherche.

En conclusion de ce paragraphe, revenons au contexte de nos travaux de recherche : une partie importante des chercheurs du centre SITE, auquel j'ai fait partie de 1998 à 2011, travaillait sur l'évaluation de ***l'état de l'environnement***, et en particulier, sur la modélisation spatiale et l'optimisation des ressources en eau et de la qualité de l'air. La spécificité de ce centre de recherche était de travailler à l'interface entre les activités humaines et les milieux naturels, et plus précisément à l'interface entre l'entreprise et le territoire. Il nous a donc semblé important de développer également nos compétences dans le domaine de l'évaluation des ***pressions sur l'environnement***. Et c'est dans ce domaine là que se sont plus précisément situées mes recherches.

Nos objets d'étude sont ainsi les systèmes *à l'origine des facteurs d'impacts et pressions* (entreprises, administrations, populations) et non les écosystèmes affectés par les pollutions (que l'on peut qualifier de "cibles").

Ces interrelations entre l'Homme et son environnement sont au centre des outils d'évaluation de la soutenabilité écologique qui se développent aujourd'hui dans le prolongement de la littérature sur l'évaluation environnementale.

De l'évaluation environnementale à l'évaluation en matière de développement durable, il y a un pas, franchi au sein du centre SITE de 2002 à 2005, avec la thèse d'Aurélien Boutaud (Boutaud 2005), premier doctorant dont j'ai suivi les travaux, qui a étudié, grâce à un financement ADEME / Grand Lyon, les outils d'évaluation des politiques publiques locales en matière de développement durable.

2.3.1 Des questions de valeurs…

Les outils d'évaluation reposent sur des hypothèses, souvent implicites, issues d'un système de valeurs (Gasparatos, Scolobig 2012). Notons d'ailleurs, avec F. Jany Catrice, la polysémie de cette notion de valeur dans une perspective pluridisciplinaire (Jany-Catrice 2012). Ce terme recouvre en effet à la fois un sens proche de la morale mais également la notion de « *valeur utilité* » qui tend à « *neutraliser les rapports économiques* » et à « *maintenir les croyances collectives hors du champ de l'économie* » (Jany-Catrice 2012).

Les principales hypothèses sous-jacentes aux outils d'évaluation concernent (Gasparatos, Scolobig 2012) :

- la perspective d'évaluation globale

- le choix d'adopter ou non une perspective réductionniste

- le caractère acceptable ou non des compensations possibles entre les différents domaines de la soutenabilité.

A. Boutaud a mis en évidence, dans son DEA (Boutaud 2002) puis dans sa thèse (Boutaud 2005), le lien fort entre les outils d'évaluation choisis et la conception de la soutenabilité sous-jacente des concepteurs et utilisateurs de l'outil.

En particulier, différentes représentations de la spécificité du capital naturel par rapport aux autres types de capitaux s'opposent. Pour les tenants de la soutenabilité faible, les différentes formes de capitaux qui participent à l'économie humaine sont considérées comme substituables les unes aux autres. Autrement dit, le capital (ou l'actif) naturel pourrait être remplacé par d'autres formes de capitaux artificiels. Le fait de dégrader ou de détruire le capital naturel ne serait donc pas particulièrement problématique dans la mesure où ce capital est utilisé pour produire une autre forme de capital – bâtiments, infrastructures, connaissances, etc. – qui sera alors légué aux générations futures, en lieu et place du capital naturel dégradé. Grâce à cette hypothèse de substituabilité, le principe central de solidarité intergénérationnelle est donc respecté, sans pour autant que les considérations écologiques n'aient besoin d'être considérées comme une priorité. Les tenants de la soutenabilité faible pensent donc que ce qui doit être soutenu, c'est la capacité de consommation des populations, misant sur l'émergence d'innovations technologiques qui permettront, le moment venu, de passer outre la disparition de certaines ressources ou la dégradation de certains éléments naturels (Boutaud, Gondran 2009).

Ouvertement opposés à cette vision, les tenants de la soutenabilité forte, rejettent l'hypothèse de la substituabilité. Pour eux, le capital naturel intègre un certain nombre de caractéristiques écologiques irremplaçables qui déterminent les grands équilibres planétaires

et qu'il convient de préserver prioritairement afin de les léguer dans leur intégrité aux générations futures. La dégradation de ces équilibres ne peut ainsi être compensée par la création de capital technique ou humain. La soutenabilité forte suggère ainsi de ne pas utiliser davantage de services écologiques que la nature n'est capable d'en régénérer. Autrement dit, seule la « *plus value* » du système écologique doit être mobilisée à des fins humaines, sans entamer le capital naturel. Selon H. Daly, « *la capacité des écosystèmes à maintenir ces flux ne doit pas être épuisée. Le capital naturel doit être conservé intact. L'avenir devra être au moins aussi riche que le présent en termes d'accès aux ressources et services fournis par les écosystèmes* » (Daly 2002) (notre traduction).

Au-delà d'une simple opposition, nous préférons la représentation, proposée par A. Boutaud, d'un continuum selon lequel les acteurs se positionnent, selon leur niveau de priorité (Boutaud 2005).

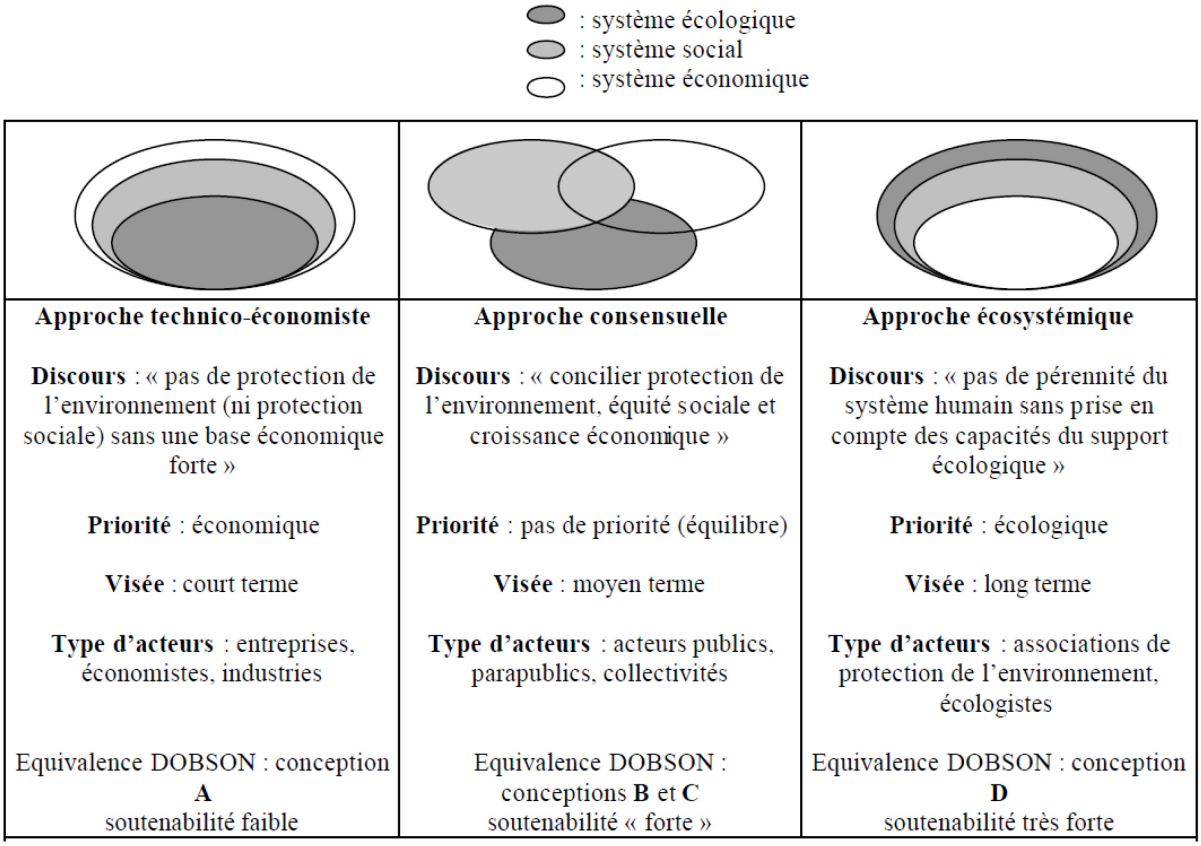


Figure 17. Essai de typologie des approches du développement durable : échelle de perception (Boutaud 2005)

Cette question nous paraissant centrale au sein de nos travaux et choix méthodologiques, nous reviendrons un peu plus tard sur les origines de l'hypothèse de substitualité et les questions qu'elle pose. Depuis la publication du rapport Brundtland en 1987, et plus particulièrement depuis les années 2000, de nombreuses publications portent sur la problématique de l'évaluation de la durabilité. Ces méthodologies concernent tant l'échelle macro-économique (publiées dans des revues telles que « *Ecological Economics* », « *Ecological Indicators* », par exemple) que celle de l'organisation (revues de comptabilité et gestion, par exemple). Les outils proposés à l'échelle de l'organisation s'apparentent souvent à des déclinaisons des méthodes d'analyse multicritères et d'analyses de cycle de vie, tendant

parfois à proposer des méthodes de comptabilité des coûts complets environnementaux et sociaux, identifiés dans la littérature anglaise sous la dénomination « *Full cost accounting* » (Bebbington, Brown & Frame 2007).

Cependant, l'évaluation de la soutenabilité pose des questions méthodologiques, voire épistémologiques pouvant difficilement être résolues dans le cadre d'approches disciplinaires classiques. Comme le signale M. O'Connor, l'introduction, au sein des enjeux décisionnels, d'incertitudes scientifiques parfois non résolubles, fait émerger des controverses sociales mettant en perspective la pluralité des valeurs. En effet, l'incertitude et la complexité des enjeux rend possibles des situations où plusieurs points de vue différents peuvent s'exprimer, chacun n'étant ni totalement convaincant (pour tout le monde, à tout moment…) vis-à-vis de tous les aspects de la situation, ni ne pouvant totalement être rejeté comme n'ayant rien de pertinent face à la situation (O'Connor 1999).

Il semble ainsi nécessaire d'amener les décideurs (individus et groupes) à prendre du recul sur les aspects insoutenables de leurs pratiques organisationnelles. Il faudrait ainsi aider les acteurs à reconnaître le fait que leurs compréhensions et visions des modèles classiques de prise de décision sont influencées par des constructions sociales et cachent des valeurs et hypothèses implicites afin d'appuyer les processus de prise de décision par des perspectives « *rationnelles* » plus larges (Bebbington, Brown & Frame 2007). Une perspective fréquemment proposée à cette fin est de faciliter le dialogue avec les parties prenantes concernées par la décision. Cependant, l'implication des parties prenantes dans l'évaluation est un processus souvent long, complexe et coûteux. De plus, certains enjeux (environnementaux et biophysiques, par exemple) risquent de ne pas être portés par des parties prenantes "humaines", l'approche par les parties prenantes nous semble donc devoir être complétée par une évaluation "substantive" tenant compte des enjeux environnementaux de long terme. En effet, « *si les parties intéressées locales sont à même de porter des intérêts locaux (pollution des eaux et de l'air, nuisances olfactives ou sonores…), il n'en est pas de même pour des acteurs lointains (pays en développement) ou absents comme les générations futures* » (Brodhag, Gondran & Delchet 2004)(Brodhag, Gondran & Delchet 2004).

Ainsi, de nombreux outils d'évaluation de la soutenabilité, peuvent être utilisés "en interne" au sein d'une organisation (entreprise ou collectivité territoriale, par exemple) sans impliquer les parties prenantes. Mais ces outils d'évaluation sont avant tout des outils de représentation d'une réalité complexe et, comme nous l'avons vu préalablement, les perceptions des priorités divergent selon les acteurs. Pour simplifier et représenter la réalité étudiée, chaque outil repose donc sur des valeurs et hypothèses implicites différentes (Gondran, Kammen 2004). A. Gasparatos propose la typologie suivante pour les différents outils d'évaluation de la durabilité (Gasparatos, Scolobig 2012).

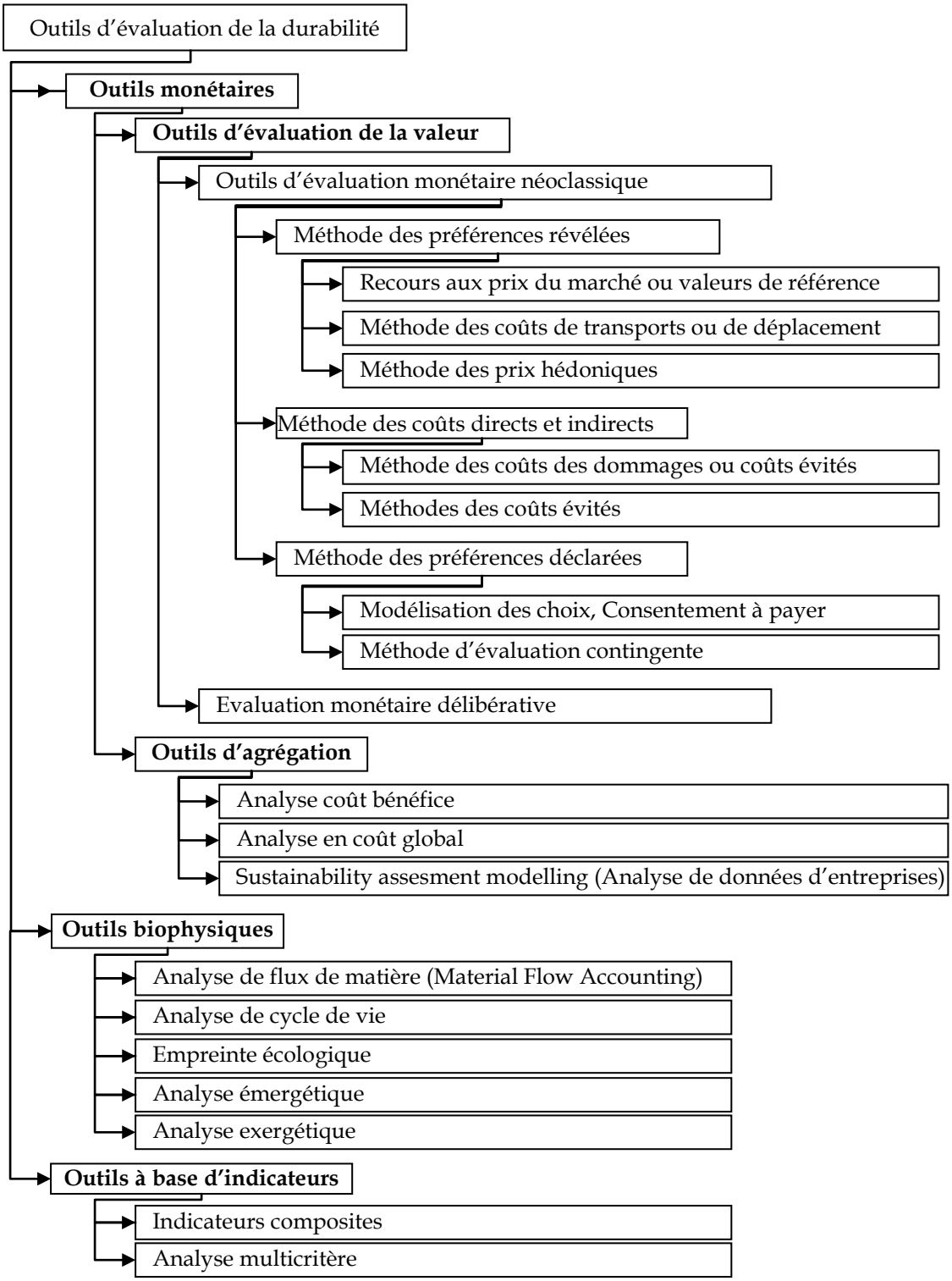


Figure 18. Exemple de typologie des outils d'évaluation de la durabilité (d'après une synthèse de (Gasparatos, Scolobig 2012)**) et** (Le Pochat et al. 2013)**)**

Les *outils de monétarisation* sont basés sur des modèles de comportements humains et reposent sur l'hypothèse que ce sont les préférences subjectives des individus qui créent la valeur. Les outils d'évaluation monétaire représentent le consentement à payer d'une personne pour accéder à une commodité ou un service ou le consentement à accepter une

compensation pour renoncer à l'accès à ce service (Gasparatos, Scolobig 2012). Les analyses coûts-avantages, quant à elles, visent à estimer en coûts monétaires, les bénéfices et effets néfastes sur la société et l'environnement, d'un projet ou d'une politique.

Les approches basées sur les ressources biophysiques, aussi qualifiées d'« *économie biophysique* » (Dutil, Rousse 2012), visent à quantifier la quantité de ressources naturelles mobilisées pour la production d'un bien ou d'un service. Les valeurs estimées sont donc a priori basées sur les propriétés intrinsèques des processus, en se basant sur des données physiques et en les traduisant en unités communes de mesure telles que la surface bioproductive (empreinte écologique), l'énergie solaire incorporée (analyse émergétique), les tonnes de matériaux utilisés (sac à dos écologique), ou le retour sur l'investissement énergétique (Dutil, Rousse 2012), par exemple. Cette valeur biophysique est ensuite utilisée comme un proxy de l'impact environnemental. C'est-à-dire que le projet qui apparaît comme préférable est a priori celui qui nécessite la plus faible appropriation de ressources naturelles (ou plus exactement, des ressources naturelles étudiées par l'outil d'évaluation choisi). Ainsi, les outils biophysiques se situent plutôt dans une perspective éco-centrée, essayant de passer outre les préférences humaines pour choisir entre différentes alternatives (Gasparatos, Scolobig 2012).

Ainsi, ces deux perspectives d'évaluation (anthropocentrique versus éco-centrée) correspondent à la perception de la durabilité par les acteurs (durabilité faible versus forte).

Les *outils à base d'indicateurs* impliquent de nombreux choix méthodologiques fortement chargés de choix de valeurs. En particulier, les phases de sélection d'indicateurs, pondération, normalisation et agrégation, cachent souvent, sous des choix apparemment méthodologiques et techniques, des prises de positions en termes de visions, valeurs et priorités. Ainsi, les choix, et par conséquent les résultats de l'évaluation, peuvent fortement dépendre des experts construisant l'outil d'évaluation. Il est donc plus difficile a priori de positionner cette approche sur l'échelle du positionnement des outils anthropocentrés versus éco-centrés (Gasparatos, Scolobig 2012). Dans son mémoire de DEA, A. Boutaud montrait en ce sens que le classement des pays en termes de développement durable différait radicalement selon l'outil technique d'évaluation choisi. Ainsi, le classement proposé en 2001 par le Forum économique mondial de Davos (Environmental Sustainable Index) plaçait, en tête des pays considérés les plus "durables", des pays nordiques (Norvège, Finlande, Canada, Islande) alors que ces pays arrivaient plutôt en queue de peloton avec la méthode Environmental Human Development Index, dont le commanditaire était l'ONG Friends of the Earth, avec lequel les pays qui arrivaient en tête étaient, à l'époque, l'Ouganda, la Suisse et le Vietnam (Boutaud 2001).

Ainsi, la sélection, et a fortiori la conception, d'outils d'évaluation de la durabilité implique des partis-pris, parfois explicites mais souvent implicites, éthiques et idéologiques.

A côté de l'opposition entre outils se positionnant dans une perspective de durabilité faible versus ceux s'inscrivant dans une perspective de durabilité forte, une autre forme d'opposition se dessine : approches monocritères, relativement simples à interpréter versus les approches multicritères dont l'interprétation est moins directe. En effet, si la construction

des outils d'évaluation biophysiques et monétaires est complexe et implique de nombreuses hypothèses souvent implicites, l'interprétation des résultats est, quant à elle, relativement aisée du fait de leur expression finale généralement basée sur un seul indicateur, exprimé en une unité unique. Inversement, les outils à base d'indicateurs permettent la représentation d'une diversité d'aspects différents sous la forme d'indicateurs divers et exprimés en des unités variées, ce qui respecte mieux le caractère incommensurable des différents impacts et confère une meilleure crédibilité scientifique. Cependant, l'interprétation d'un tableau complexe d'indicateurs multiples est incontestablement beaucoup plus délicate. Les choix de simplification de la complexité sous-jacente à la vision multicritère, s'expriment par exemple dans les choix de pondération et de normation. Ces choix doivent donc incomber à l'utilisateur final de l'outil (Gasparatos, Scolobig 2012) et non à l'expert qui l'élabore.

Mode de représentation **Vision de la durabilité**	**Monocritère**	**Multicritère**
Durabilité faible (anthropocentrée)	Monétarisation des impacts	Indicateurs composites
Durabilité forte (écocentrée)	Approches basées sur les ressources biophysiques	Analyses multicritères, Analyses de cycle de vie

Tableau 6. Représentation des positionnements des principaux outils d'évaluation en matière de développement durable

Nous avons pu observer, dans nos différents travaux, que si les scientifiques privilégient la robustesse scientifique de l'approche multicritère non agrégée, la plupart des décideurs, qu'ils soient en entreprise ou en collectivités locales, préfèrent des approches monocritères, plus simples à interpréter et moins gourmandes en temps du processus décisionnel … quitte à laisser à "l'expert" le soin et la responsabilité d'effectuer lui-même les hypothèses et choix en termes de pondération et hiérarchisation des différents aspects à prendre en compte. Nous avons montré dans (Gondran 2012) l'importance d'associer à ces choix méthodologiques les différentes parties prenantes concernées par l'évaluation, y compris dans des approches d'évaluation biophysiques supposées les plus "objectives" possibles. Cette posture implique, de la part des « experts », une démarche pédagogique sur les enjeux méthodologiques de l'outil à mettre en place et de la part des utilisateurs potentiels de l'outil, d'accepter d'accorder du temps à l'appropriation de l'outil… quitte à risquer un découragement de part et d'autres, compte-tenu des désaccords potentiels et délais certains qu'une telle démarche soulève.

Nous posons l'hypothèse qu'une démarche participative, impliquant les utilisateurs futurs potentiels des outils développés, voire les parties prenantes concernées par l'évaluation, est indispensable dans une logique d'appropriation et de transparence des outils d'évaluation.

2.3.2 L'évaluation environnementale induit de nouvelles représentations de l'environnement

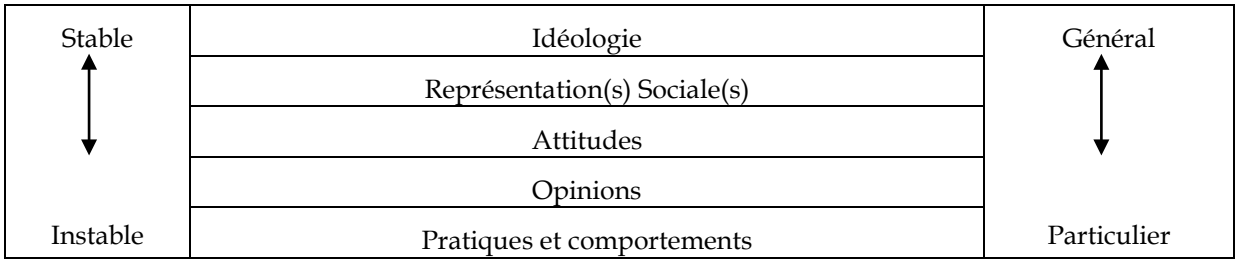
La notion de représentation est apparue, dans les travaux transdisciplinaires de E. Durkheim associant psychologie et sociologie, à la fin du XIX^{e} siècle (Danic 2006): *« La vie collective, comme la vie mentale de l'individu, est faite de représentations ; il est donc présumable que représentations individuelles et représentations sociales sont, en quelque manière, comparables »* (Durkheim 1898).

Durkheim distinguait trois réalités : les processus physico-chimiques du cerveau, les représentations individuelles et les représentations sociales (Danic 2006). La psychologie sociale va reprendre à son compte la notion de représentation avec, en particulier, les travaux de Moscovici, en 1961, qui distinguent la notion de « *représentation sociale* […] *construite pour et par la pratique* », des « *représentations collectives* » qui incluent les façons de penser scientifiques, religieuses ou mythiques (Danic 2006). Ainsi, la notion de *représentation* désigne une dimension de la réalité intériorisée. Elle présente un intérêt de lien et d'articulation entre différentes sciences sociales (sociologie, géographie sociale, psychologie sociale, par exemple) (Danic 2006).

Plus spécifiquement, la notion de « *représentation sociale* » est définie par Moscovici comme « *des ensembles dynamiques, des théories ou des sciences collectives destinées à l'interprétation et au façonnement du réel. Elles déterminent des champs de communication possibles, des valeurs, des idées présentes dans les visions partagées par les groupes et règlent par la suite des conduites désirables ou admises* » (Depeau 2006). Ainsi, un objet peut être objet de représentations différentes s'il est « *source de divergences et de questionnements quant à l'idée du groupe social* » (Depeau 2006).

M.L. Rouquette articule les représentations sociales avec d'autres instances de la pensée sociale, allant de l'idéologie aux pratiques et comportements (Depeau 2006).

Figure 19. Représentation de la pensée sociale selon M.L. Rouquette (cité par (Rateau, Ernst-Vintila & delouvée 2012)**)**



Ainsi, les questions environnementales pénètrent la pensée sociale à travers les savoirs scientifiques mais également à travers d'autres éléments, tels que le registre émotionnel, les croyances, les idées, les valeurs associées à l'environnement (Garnier 2000).

Il nous semble donc que l'évaluation des pressions exercées par les activités humaines sur l'environnement, objet à l'origine de nombreux questionnements et divergences, peut être considérée comme objet de représentations sociales, ou plus exactement, comme un des éléments venant influencer les représentations sociales de la notion d'environnement. Ainsi, nous utiliserons la notion de "représentation de l'environnement" afin d'exprimer la façon dont la notion "d'environnement" est intériorisée par différents individus. Cette notion

intègre les savoirs véhiculés par l'évaluation environnementale, mais également de nombreux autres éléments, y compris subjectifs, propres à chaque individu.

La notion de représentation de l'environnement a particulièrement été étudiée par Lucie Sauvé, pour ses travaux relatifs à l'éducation à l'environnement. Ainsi, selon les individus, la notion d' « *environnement* » peut être perçue comme *environnement nature* (espaces de vie naturels, éléments naturels), *environnement ressources* (richesses naturelles, pêche, etc.), *environnement problème* (détériorations, pollutions), *environnement système* (écosystème, équilibres écologiques), *l'environnement milieu de vie* (espaces de vie, réalisations humaines), *biosphère* (environnement global), *projet communautaire* (objet politique). Chaque représentation correspond ainsi à un mode d'agir différent, et à des visées d'éducations relatives à l'environnement différentes (Sauvé 2001). Ainsi, l'évaluation environnementale, tout comme l'éducation relative à l'environnement a pour objectif d'obtenir des changements dans l'action et dans les pratiques sociales, contrairement aux travaux scientifiques traditionnels dont la seule finalité est la connaissance scientifique (Garnier 2000). Cette spécificité implique un positionnement différent du chercheur. En effet, la production de savoirs se trouvant associée à celle de l'action et de l'intervention, le positionnement du chercheur se trouve orienté dans des démarches de recherche intervention, qui nécessite des développements méthodologiques et théoriques spécifiques (Garnier 2000). Nous reviendrons plus tard (paragraphe 5.1) sur notre posture vis-à-vis de ce positionnement spécifique.

Une des hypothèses directrices de nos travaux de recherche est que l'évaluation des pressions exercées par les activités humaines sur l'environnement contribue à la création de connaissances et peut générer de "nouvelles" représentations de l'environnement qui peuvent être des éléments décisionnels supplémentaires à prendre en compte par les acteurs territoriaux.

Cette hypothèse nous amène à positionner nos travaux de recherche dans une perspective de recherche-intervention. En effet, in fine, l'objectif est d'introduire un retour sur les pressions exercées par les activités humaines sur l'environnement (dont les conséquences sont souvent "invisibles" et non perçues) au sein des représentations sociales afin de modifier attitudes, pratiques et comportements.

Un exemple est l'accent aujourd'hui porté, par les pouvoirs publics, sur les bilans des émissions de gaz à effet de serre rendus obligatoires pour les entreprises de plus de 500 employés et les établissements publics, comme nous l'avons vu précédemment (voir paragraphe 2.3). Les émissions de gaz à effet de serre sont incolores, inodores et généralement gratuites. En l'absence de mesure, ce thème était laissé de côté jusqu'à la mise en place de cette réglementation. On peut s'interroger sur la pertinence et la cohérence globale de ce choix de la part des acteurs publics, mais la mise en place d'un système de comptabilité, imposé aux acteurs publics et privés, positionne incontestablement cet enjeu sur les agendas décisionnels des différents acteurs.

Ces problématiques étaient au cœur des travaux de thèse d'Aurélien Boutaud, premier doctorant dont j'ai eu la chance de pouvoir suivre les travaux. En particulier, Aurélien Boutaud a montré, dans le cadre de sa thèse, que les outils d'évaluation du développement durable, démarches normatives disposant d'un fort pouvoir d'appropriation, permettent de « « *rigidifier* » *un concept souvent considéré comme* « *mou* » » et sont donc ainsi « *au cœur d'un débat à la fois technique et idéologique fort* » (Boutaud 2005). Ses travaux ont reposé sur des bases théoriques solides et un état de l'art approfondi de la vaste littérature sur les thèmes des préoccupations environnementales et du développement. Ils nous ont permis de prendre du recul sur les méthodes alors développées au sein du laboratoire et dans d'autres travaux académiques. Cette thèse a ainsi mis en évidence la difficulté d'appréhension de certains enjeux de développement durable par les sphères politiques et administratives. Cette difficulté interroge sur la capacité des systèmes démocratiques à prendre en compte les intérêts des acteurs non représentés (générations futures, autres territoires, autres espèces, etc.).

En termes d'évaluation, comme nous l'avons vu, cette difficulté à prendre en compte les intérêts des acteurs non représentés trouve son origine dans l'hypothèse de substitualité entre capital naturel (disponible pour les générations futures, les autres espèces, etc.) et capital produit par l'homme (et donc disponible pour les générations actuelles principalement). Nous nous proposons de développer un peu plus l'historique des débats sur cette question qui nous paraît centrale dans nos réflexions.

2.3.3 Au cœur des débats entre écologie et économie : l'épineuse question de la substituabilité

2.3.3.1 Des fondements du postulat de substituabilité…

Parce qu'elle vise à intégrer des éléments relatifs aux impacts des activités humaines sur les écosystèmes, au sein des décisions d'acteurs, qui reposent principalement sur des critères économiques, l'évaluation environnementale se situe à l'interface entre plusieurs disciplines : sciences de l'écologie (pour l'étude des impacts), sciences dites de l'ingénieur (pour le suivi des flux), sciences économiques (pour la compréhension des décisions des acteurs économiques). Nous pourrions évidemment rajouter la sociologie et la psychologie pour une meilleure compréhension des décisions humaines, mais nous nous cantonnerons, dans le paragraphe ci-dessous, à analyser les facteurs de blocage qui rendent difficiles les échanges entre l'économie et l'écologie.

Un manuel scolaire finlandais de biologie au lycée[6] compare ainsi ces deux disciplines :

"*En tant que science, l'économie est plus ancienne que l'écologie. Au temps des premiers économistes, il n'était pas question de rareté des ressources naturelles. Cela se ressent encore dans la planification économique d'aujourd'hui. Au contraire, l'écologie ne peut accepter l'idée de ressources illimitées. De*

[6] Valste, J., S. Airamo, M. Holopainen, I. Koivisto, T. Suominen, and P. Viitanen. 1993. Biologia: Toimiva eliömaailma, Perinnöllisyys ja Evoluutio (in Finnish). Porvoo: WSOY

plus, en économie, un horizon de 10 ans est long alors qu'en écologie, cela est très court » ((Tahvonen 2000) citant (Valste et al. 1993), notre traduction)

Cette comparaison, certes un peu caricaturale, est assez explicite quant aux difficultés qui peuvent être rencontrées lorsque l'on essaie de faire communiquer ces deux mondes fondés sur des postulats très éloignés. En effet, la problématique de la rareté des ressources naturelles et de leurs limites pour supporter les activités humaines, sur laquelle repose la légitimité même des méthodologies d'évaluation environnementale, n'est pas reconnue de façon unanime par les sciences économiques.

L'une des premières écoles de pensée économiste, les physiocrates, au XVIII^{eme} siècle, reliaient pourtant bel et bien la création de richesse à l'agriculture et donc, à la terre et plus largement à la nature. Selon eux, l'humanité subit la nature dont il faut respecter les contraintes pour prospérer. Le rôle de l'économie serait donc de révéler les lois de la nature (Lalucq 2013). Mais cette conception a pour objectif d'assurer la coordination de l'exploitation agricole aux conditions de renouvellement du sol, et donc de justifier la propriété privée et un ordre "naturel" d'origine divine favorable aux plus riches (Lalucq 2013). Cette vision d'une économie ancrée dans la nature semble avoir disparu chez les économistes du XIX^{eme} siècle. Cette absence de reconnaissance des limites naturelles est mise en exergue par la phrase de J.B. Say, maintes fois reprises dans des travaux portant sur le développement durable pour montrer la "vision du monde" sur laquelle s'est construite la théorie économique : « *Les richesses naturelles sont inépuisables, car sans cela nous ne les obtiendrions pas gratuitement. Ne pouvant pas être multipliées, ni épuisées, elles ne sont pas l'objet de la science économique* » (Say 1832).

Ainsi, en l'absence de prise en compte des limites des ressources naturelles, les sciences économiques voient le capital naturel comme une forme de capital parmi d'autres. Il pourrait donc se substituer indéfiniment aux autres types de capitaux (technologiques, financiers, culturels, etc.).

Selon J. Milanesi, les racines de cette hypothèse de substituabilité sont à rechercher dans les travaux du philosophe Jeremy Bentham (1748 – 1832), fondateur de la philosophie utilitariste. Son ambition était de « *fonder une philosophie politique et morale sur une arithmétique des plaisirs et des peines des individus* » (Milanesi 2010). Le projet est ambitieux : développer une « *philosophie du bonheur* », basée sur la doctrine suivante : « *les actions sont bonnes dans la mesure où elles tendent à développer le bonheur ; elles sont mauvaises dans la mesure où elles tendent à produire ce qui est opposé au bonheur* » (Milanesi 2010). Il s'agissait également de s'affranchir des systèmes anciens de droit divin ou traditionnel. Mais quelle unité de mesure choisir pour mesurer l'utilité générée par les actions ? « *D'un plaisir ou d'une peine qui sont produits par une autre cause, l'argent, quoiqu'il n'en soit pas la cause, peut être la mesure : sinon la mesure directe, du moins une mesure exacte et convenable, et la seule dont la peine et le plaisir soient susceptibles* » (J. Bentham, cité par (Milanesi 2010)). Pour résoudre ce problème complexe de mesure, J. Bentham propose ainsi d'adopter ce que l'on appellerait aujourd'hui une variable "proxy" : la monnaie. « *Le Thermomètre est l'instrument qui sert à mesurer la chaleur du temps ; le Baromètre, l'instrument qui sert à mesurer la pression de l'air. Ceux que ne satisfait pas l'exactitude de ces instruments devront en trouver d'autres qui soient plus exacts, ou dire adieu à la Philosophie*

naturelle. L'argent est l'instrument qui sert de mesure à la quantité de peine ou de plaisir. Ceux que ne satisfait pas l'exactitude de cet instrument devront en trouver quelque autre qui soit plus exact, ou dire adieu à la Politique et à la Morale » (J. Bentham, cité par (Milanesi 2010)).

A la même période que J. Bentham, T. R. Malthus (1763 – 1834), économiste politique anglais préoccupé par la détérioration des conditions de vie au XIX^{ème} siècle, s'est pourtant penché sur la question de la rareté des ressources et le caractère fini des ressources naturelles (agricoles, en particulier). Il s'opposait alors à l'optimisme de ses contemporains, philosophes et économistes, qui pensaient que l'esprit humain et le développement technologique résoudraient les problèmes posés par la croissance économique et démographique. T. R. Malthus pensait, au contraire, que l'espèce humaine se reproduirait jusqu'à atteindre les limites des ressources naturelles, et que l'équilibre des sociétés serait caractérisé par la misère, la famine et un minimum vital de subsistance. Selon lui, le développement technologique ne génèrerait qu'une amélioration de court terme du bien-être, jusqu'à atteindre à nouveau les limites naturelles. Un développement de long terme ne semblerait ainsi possible que si la population humaine s'engageait moralement à ne pas s'accroître, dans le cadre de conditions économiques stables où les revenus seraient supérieurs au minimum vital, mais T.R. Malthus jugeait cela impossible (Tahvonen 2000). Les travaux de Malthus prônaient une stabilité de long-terme plutôt qu'un opportunisme de court-terme et de croissance. Cependant, ses positions sur la nécessité de maîtriser la croissance démographique furent critiquées et controversées. En outre, ses prédictions ont été contredites par les faits durant les décennies, voire les siècles suivants, du fait de la hausse des rendements et de la productivité, en particulier agricole qui s'est finalement avérée être plus rapide que le taux de croissance démographique. Mais si cette hausse de la productivité est effectivement en partie liée aux développements technologiques, elle s'est surtout appuyée sur l'utilisation de ressources naturelles (fossiles, minérales, etc.) qui deviennent de plus en plus rares et dont les limites ne peuvent aujourd'hui plus être ignorées.

Dès la fin du XIX^{ème} siècle, le Mouvement Américain de la Conservation avait alerté l'opinion américaine quant aux processus de dégradation de l'environnement qui étaient déjà à l'œuvre en Europe alors que le développement industriel n'en était qu'à ses débuts aux Etats-Unis. Pour les partisans de ce mouvement, dont Théodore Roosevelt, diplômé d'histoires naturelles, fut l'un des leaders, la croissance économique possède des limites physiques qui ne peuvent pas être dépassées par le développement technologique. L'utilisation trop rapide de ressources non renouvelables était alors déjà considérée comme une menace pour les générations futures. Le programme du président Théodore Roosevelt (1901 – 1909) visait ainsi à encourager la protection des ressources naturelles renouvelables (forêt, réseau hydrologique) ainsi que l'utilisation rationnelle et la diminution du gaspillage dans l'exploitation des ressources non renouvelables comme le charbon et le pétrole (Girard 1994).

Si ces mesures marquent une prise de conscience de la nécessité de préserver les ressources naturelles, les travaux de H. Barnett et C. Morse, en 1963, ont vite refermé cette parenthèse en cherchant à valider si l'on pouvait constater une augmentation des prix, liée à une raréfaction des ressources naturelles entre 1870 et 1957. Ils se sont basés pour leurs analyses

statistiques, rendues possibles à ce moment là grâce au développement des capacités de calculs et à l'amélioration des données disponibles, sur des séries temporelles de prix et coûts, ajustés de l'inflation, de ressources minérales, agricoles et renouvelables (Barnett, Morse 1963). Il s'avérait alors que, sur cette période, les prix et coûts de production des ressources minérales et agricoles diminuaient, ou restaient constants. Seules les ressources forestières voyaient leur prix augmenter. Sans remettre en cause la capacité (ou plutôt incapacité) du marché à tenir compte de l'état des stocks de ressources naturelles, les auteurs expliquèrent leurs résultats par les avancées technologiques qui permettraient de compenser l'épuisement des ressources en fournissant des substituts aux ressources rares, ou réduisant le coût de l'extraction des minéraux (Tahvonen 2000).

Ces travaux, ainsi que ceux du philosophe J. Bentham ont été repris à leur compte par plusieurs économistes, parmi lesquels A. Marshall (1842 – 1924), J. Hicks (1904 – 1989), puis K.G. Mäler. C'est ce dernier, « *économiste environnemental* », qui a formalisé l'hypothèse de substituabilité, en 1974 en avançant l'hypothèse que les biens publics non marchands sont des substituts parfaits au revenu des consommateurs (Milanesi 2010)).

La vision utilitariste, promue par J. Bentham, est également partagée par les économistes P. Dasgupta, G. Heal, R. Solow et J. Stiglitz qui proposèrent, dans le cadre du « *Symposium on the economics of Exhaustible resources* », en 1974, le modèle « *Dasgupta–Heal–Solow–Stiglitz* ». Ce modèle décrit une économie basée sur deux types de capitaux : le capital créé par l'homme et le stock de ressources non renouvelables (Benchekroun, Withagen 2011). Il vise à démontrer, grâce à un modélisme mathématique sophistiqué, la possibilité d'un « *état de croissance optimale* » (Solow 1974), caractérisé par un « *taux optimal d'épuisement des ressources limitées* » (notre traduction de « *Optimal Depletion of Exhaustible Resources* ») (Dasgupta, Heal 1974). Ce modèle repose donc sur l'hypothèse d'une substituabilité parfaite entre capital naturel et capital humain construit. R. Solow souligne que cette théorie de « *la croissance optimale* » repose sur des présupposés utilitaristes au sens où les états sociaux sont considérés comme une fonction d'utilité des individus, « *avec la possibilité que la perte d'utilité d'un individu (ou d'une génération) soit plus que compensée par l'augmentation d'utilité pour d'autres individus ou générations* »(Solow 1974).

J. Hartwick s'est appuyé sur ce postulat et le modèle Dasgupta-Heal-Solow-Stiglitz pour formuler, en 1976, la « *règle de Hartwick pour la soutenabilité* » formulée ainsi (notre traduction) : « *Investir tous les profits et rentes issus de ressources limitées dans du capital transmissible, tel que des machines. Cette injonction semble résoudre les problèmes éthiques liés à ce que la génération actuelle prive les générations futures en surconsommant aujourd'hui des ressources naturelles limitées du fait de sa consommation de produits issus de ces ressources* » (Asheim 2011).

Ainsi, ces théories économiques postulent, généralement implicitement, que le montant des investissements dans du capital produit par l'Homme (bâtiments, routes, connaissances, etc.) viendrait compenser exactement les stocks déclinant de ressources non renouvelables afin de garder constante la consommation et, par conséquent, le niveau de « *bien-être* » des individus.

2.3.3.2 …à sa remise en cause

P. R. Ehrlich, biologiste américain, a probablement été un des premiers auteurs à remettre en cause ce postulat de la substituabilité, en étudiant la question de la substitution entre ressources vivantes. Contrairement aux travaux de H. Barnett et C. Morse dont l'approche économique ne prenait pas en compte les spécificités liées aux ressources biologiques, P. R. Ehrlich a, dès 1983, alerté la communauté scientifique sur les services rendus par les espèces vivantes ainsi que sur les risques générés par l'extinction d'espèces vivantes. Mais ces services et risques sont ignorés par le marché (Ehrlich, Mooney 1983). P. R. Ehrlich souligne ainsi les risques potentiels générés par la substitution entre êtres vivants. En effet, pour la plupart des espèces, il est très difficile de connaître précisément son rôle exact ainsi que les paramètres qui déterminent la structure des écosystèmes et qui contrôlent les différents flux de matières et énergies qui traversent les écosystèmes (Ehrlich, Mooney 1983).

Dans son sillon, en 1982, afin de combler le fossé séparant les disciplines de l'économie et de l'écologie, est né le courant « *d'économistes écologistes* », dont les pionniers furent, outre P. R. Ehrlich, Robert Costanza, Herman Daly, Charles Hall, Bruce Hannon, Ann-Mari Jansson, H.T. Odum, and David Pimentel (Costanza 2003), ainsi que Richard Norgaard , rencontré lors de mon séjour à Berkeley.

Une des pierres d'achoppement du conflit entre économistes et écologistes est bel et bien cette notion de la substituabilité. En effet, selon les « *économistes écologistes* », « *la condition nécessaire à la soutenabilité est le maintien du stock complet de capital naturel. Même si un stock plus faible de capital naturel peut être soutenable, la société ne peut plus se permettre le déclin du capital naturel compte-tenu des incertitudes importantes et des conséquences terribles des erreurs d'appréciation. Cette règle de constance du capital naturel total peut ainsi être vue comme une condition a minima de prudence pour assurer la soutenabilité, et n'être assouplie que si des preuves solides montrent que cela est prudent* » (Costanza, Daly 1992) (notre traduction)

Par exemple, les avancées technologiques permettent certes d'accroître la taille des *réserves* économiquement récupérables (volumes d'hydrocarbures ou minerais récupérables aux conditions techniques et économiques du moment, dans des gisements exploités ou en passe de l'être (connaissance des énergies 2013)), mais elles n'augmentent en rien les *ressources* géophysiques (hydrocarbures ou minerais, par exemple). De surcroît, le capital naturel est constitué d'éléments vitaux pour le maintien des grands équilibres écologiques : il ne peut être remplacé. Ces grands équilibres doivent être préservés dans leur intégralité pour assurer la vie des générations futures.

R. Costanza et H. Daly ont formalisé quatre types de capitaux. Le capital naturel est constitué du capital naturel « *renouvelable ou actif* » (écosystèmes, par exemple) et du capital naturel « *non renouvelable ou inactif* » (ressources fossiles et minérales, par exemple). Le capital construit par les humains se compose quant à lui des usines, bâtiments, infrastructures, objets et autres artefacts physiques traditionnellement associés, en comptabilité, à la notion conventionnelle de « *capital* », mais également du « *capital immatériel* », qui fait référence à des éléments non monétaires et sans substance physique, tels que l'éducation, les compétences, la culture et les connaissances possédées par les êtres humains (Costanza, Daly 1992).

Cette classification peut être discutée. En effet, certains systèmes sont à la fois artificiels et naturels. Par exemple, la plupart des barrages sont des ouvrages artificiels. La modification de l'écosystème naturel qu'ils génèrent crée un nouvel équilibre dynamique de l'écosystème qui génère une nouvelle forme d'écosystème naturel.

Les limites du postulat de substituabilité entre capital naturel et capital humain apparaissent flagrantes (ce qui n'empêche pas ce postulat d'être pourtant, de façon implicite, à la base de nombreux choix de la société occidentale). Certains outils de régulation reposent également sur le postulat de substituabilité entre différents services écosystémiques. En particulier, deux approches découlant de ce postulat sont acceptées, voire encouragées par les outils de régulation environnementale :

- La compensation écologique
- La compensation carbone

La pertinence écologique, voire psychologique, sociale et politique de ces approches est cependant contestable.

Le postulat de substituabilité entre services écosystémiques est à la base des approches de compensation écologique, institutionnalisées par les cadres juridiques de nombreux pays (Etats-Unis, Australie, Canada, Brésil, France, Union Européenne, par exemple) (UICN France 2011). La compensation d'atteinte à la biodiversité est définie comme « *la réalisation de mesures pour restaurer, créer, améliorer ou empêcher la perte ou la dégradation d'un type d'écosystèmes, afin de compenser les impacts résiduels sur l'écosystème et/ou sur ses espèces associées* » (UICN France 2011). Les cadres législatifs français, européen et international reconnaissent toutefois que « *la compensation est un mécanisme qui ne doit intervenir qu'après la mise en place de mesures d'évitement et de réduction des impacts initialement identifiés. Les mesures compensatoires ne concernent donc que les dommages résiduels, inévitables, du projet sur la biodiversité* » (UICN France 2011). La proposition de mesures compensatoires ne peut ainsi légitimer l'autorisation de projet, en particulier dans le cas où certaines atteintes importantes à la biodiversité risquent d'entraîner la destruction d'espèces endémiques ou de milieux rares (UICN France 2011).

La notion de compensation a également connu un succès certain dans le domaine de la régulation des émissions de gaz à effet de serre. Le carbone étant envisagé comme « *la monnaie d'échange d'un nouvel ordre mondial* » (Paul Kelly, The Australian, 21 mars 2007 cité par (Kollmuss, Zink & Polycarp 2008)). Reposant sur l'hypothèse qu'une quantité donnée de gaz à effet de serre a le même impact quel que soit son lieu d'émission, la compensation carbone se définit comme « *un mécanisme de financement par lequel une personne physique ou morale substitue partiellement ou totalement à une réduction à la source de ses propres émissions, l'achat auprès d'un tiers d'une quantité équivalente de crédits carbone* » (ADEME 2008). Le protocole de Kyoto s'est appuyé sur ce dispositif : les États les plus émetteurs peuvent éviter de réduire leurs propres émissions en finançant des projets dans d'autres pays (autres pays développés via le marché des crédits d'émission et pays en développement via les mécanismes de développement propre). Cette approche présente cependant de nombreuses limites :

- Les règles de calcul des émissions générées par les activités pour lesquelles la compensation des émissions est souhaitée sont déjà basées sur des conventions et font l'objet d'une incertitude non négligeable. Mais il est encore bien plus difficile d'évaluer, a priori, les réductions obtenues grâce aux activités mises en œuvre grâce aux financements proposés (Cornut 1999). Et ceci d'autant plus que si les émissions compensées sont effectuées sur un laps de temps court (voyage en avion, par exemple), le stockage ou la réduction des gaz à effet de serre compensés impliquent des échelles de temps bien plus longues.
- Il est difficile de vérifier que les actions financées se traduisent bien par des réductions qui n'auraient pas eu lieu en temps normal (« *principe d'additionnalité* ») afin d'éviter de financer des opérations qui auraient eu lieu de toutes façons (« *effet d'aubaine* ») (Cornut 1999) ;
- Outre ces difficultés techniques, certains auteurs mettent en avant les effets pervers psychologiques et sociaux des pratiques de compensation : « *payer pour compenser permet alors de laver ses pêchés climatiques et de s'en tirer à bon compte : ce geste est non seulement bien moins douloureux que de changer de comportement mais il procède également de la délégation à autrui de la responsabilité du changement* » (Bernier mis en ligne le 20 janvier 2010)
- Les pratiques de compensation présentent également des limites politiques. En effet, elles reposent sur l'hypothèse que « *l'opération comptable par laquelle on « annule » une émission dans un endroit par une réduction équivalente en un autre lieu serait neutre du point de vue de la lutte contre le changement climatique* » (Cornut 2008). Cette hypothèse est contestable car « *on ne peut mettre sur le même plan les actions de réduction offrant le bon rendement de court terme attendu des opérateurs et les mesures structurelles indispensables dans une perspective de long terme mais coûteuses individuellement et politiquement à court terme* » (Cornut 2008).
- Enfin, cette application met en évidence les limites mêmes de l'hypothèse de substituabilité et de la monétarisation des impacts (que nous aborderons juste après). Le marché du carbone, comme celui des autres ressources naturelles, n'étant pas régulé en fonction des exigences biogéophysiques liées aux limites de notre planète, mais par la loi de l'offre (volumineuse) et de la demande (encore faible[7]), le coût aujourd'hui attribué à la tonne de carbone ainsi compensée apparaît comme ridiculement faible. Ainsi, à partir d'une analyse des offres proposées par différents sites de compensation volontaire (proposant, en moyenne, de compenser une tonne de carbone pour 15 euros) et en partant de l'objectif de 1,8 tonnes d'émission de CO_2 par an et par habitant afin de stabiliser le climat, P. Cornut a calculé, en 2008, que « *9,18 € par an suffisent pour « vivre avec une planète supplémentaire* ». Montant d'autant plus faible que les achats de services de compensation volontaire sont assimilés à des dons aux associations et bénéficient donc de réduction d'impôts (Cornut 2008).

[7] D'autant plus faible dans le cadre de la compensation volontaire qu'il s'agit d'une démarche volontaire de la part des « acheteurs » de compensation

Ces exemples illustrent les différentes visions vis-à-vis des possibilités de substitution entre les différentes formes de capitaux ainsi que les différents positionnements entre durabilité forte et durabilité faible. Ces clivages sont également très présents dans les choix sous-jacents à toute évaluation environnementale.

Ces réflexions nous amènent à essayer d'éviter de développer, dans nos travaux de recherche, des outils d'évaluation reposant, de façon plus ou moins implicite, sur le postulat de substituabilité entre capital naturel et capital humain. Nous écarterons donc a priori les outils basés sur une évaluation monétaire de l'environnement. Cependant, ces outils étant aujourd'hui utilisés dans l'aide à la décision dans le domaine de l'environnement, nous ne pouvons les ignorer. Nous avons donc choisi de les présenter ci-après tout en soulignant leurs limites.

2.4 Les outils d'évaluation monétaire de l'environnement

L'argent ne se mange pas.

Proverbe Burkinabe

Nous avons vu précédemment que la nécessité d'intégrer des éléments relatifs à l'évaluation environnementale au sein des critères de décisions pris en compte par les différents acteurs (Etats, collectivités locales, entreprises, voire citoyens) est aujourd'hui de plus en plus acceptée. Une des recommandations du rapport Stiglitz, présenté précédemment, est que « *Les aspects environnementaux de la soutenabilité méritent un suivi séparé reposant sur une batterie d'indicateurs physiques sélectionnés avec soin. Il est nécessaire, en particulier, que l'un d'eux indique clairement dans quelle mesure nous approchons de niveaux dangereux d'atteinte à l'environnement (du fait, par exemple, du changement climatique ou de l'épuisement des ressources halieutiques)* » (Stiglitz, Sen & Fitoussi 2009).

Cependant, dans la mouvance du médiatisé rapport Stern sur l'économie du changement climatique (Stern 2006) qui a rendu populaire la monétarisation des impacts, de nombreux acteurs se montrent aujourd'hui intéressés par l'évaluation monétaire des biens et services environnementaux. Cet attrait repose, entre autres, sur l'hypothèse que « *la nature disparaît parce qu'elle n'a pas de valeur économique* » (Milanesi 2010).

Plusieurs méthodes sont proposées par les sciences économiques afin de donner une valeur monétaire à l'environnement (Hardelin, Katossky & Marical 2010).

- Les **méthodes « *directes* », de valorisation par les prix ou des valeurs de référence**, peuvent être utilisées pour les services environnementaux qui donnent déjà lieu à des transactions (droits d'entrée sur un site, par exemple). Non seulement, cette méthode est limitée aux biens environnementaux qui fournissent des biens ou services donnant lieu à des transactions, mais elle repose sur l'hypothèse, discutable, que les prix d'accès aux biens ou services reflètent effectivement le bénéfice apporté par le bien environnemental. Cela ne permet pas, de surcroît, de valoriser les biens et services environnementaux dont l'accès est gratuit (promenade dans les bois,

émissions atmosphériques, par exemple). Dans ce cas, on peut recourir à des valeurs de référence, c'est-à-dire des prix modélisés qui n'ont pas de réalité sur le marché, telles que celle proposées par (Boiteux 2001), par exemple.

- ⇨ **Les méthodes des coûts évités et des coûts de productivité** sont proposées pour les services et biens environnementaux qui ne donnent pas lieu à des transactions. Le principe de la méthode des coûts évités est d'estimer le coût de mise en place de dispositifs qui produiraient les mêmes services que ceux rendus par l'environnement. La méthode des coûts de productivité vise à estimer « *la valeur du service environnemental par le surplus de production marchande qu'il induit (pollinisation dans le cas de la production agricole par exemple)* » (Hardelin, Katossky & Marical 2010). Mais le potentiel de ces méthodes se restreint à envisager les services susceptibles de se substituer à des activités marchandes. Cela implique donc de raisonner sur des fonctions bien précises rendues par un système écologique donné, et de ne pas prendre en compte les autres fonctions, souvent méconnues, mais probablement fort utiles également (Gadrey 22 septembre 2011). De plus, cela nécessite de raisonner sur une évaluation des services rendus par l'environnement dans son état actuel (donc peut-être déjà dégradé) ainsi que sur un système de production donné (qui n'est pas forcément le système optimal) (Gadrey 22 septembre 2011).
- ⇨ Les **méthodes des coûts des dommages ou des coûts de restauration** peuvent être utilisées en cas de dommages, pour attribuer une valeur, non pas au bien environnemental lui-même, mais aux dommages qui lui sont imposés. « *La méthode des coûts des dommages consiste à affecter un prix aux dommages observés suite à une détérioration du milieu* » (pertes pour les pêcheurs et ostréiculteurs, par exemple, dans le cas d'une marée noire) (Hardelin, Katossky & Marical 2010). Elle n'est donc pas applicable aux systèmes écologiques ne donnant pas lieu à transaction économique. La méthode des coûts de restauration estime quant à elle « *les coûts nécessaires à la restauration du bien environnemental dans son état originel (par exemple coût de dépollution)* » (Hardelin, Katossky & Marical 2010). Lorsque les dommages sont irrémédiables, il peut être choisi d'évaluer des coûts de compensation.
- ⇨ La **méthode des coûts de déplacement** s'applique au cas particuliers des activités récréatives. Elle vise à identifier « *la valeur des services environnementaux en mesurant les dépenses et le temps de transport des personnes pratiquant ces activités récréatives* » (Hardelin, Katossky & Marical 2010). La valorisation repose donc en grande partie sur le nombre d'utilisateurs des services, qui n'est pas forcément lié à la qualité intrinsèque des zones concernées, mais à d'autres paramètres tels que leur proximité à des centres urbains, par exemple.
- ⇨ La méthode des **prix hédoniques** consiste à isoler dans le prix d'un bien ou d'un service la part imputable à ses différentes caractéristiques. Cette méthode est souvent utilisée sur les prix de l'immobilier. Elle vise ainsi à estimer la valeur d'un service environnemental sur la base des écarts de prix observés entre deux biens similaires, mais situés dans des situations environnementales différentes. Cependant, les marchés immobiliers sont complexes et intègrent de nombreux paramètres, tels que, par exemple, les revenus des populations susceptibles d'accéder aux biens. Il semble

donc délicat d'en extraire précisément le prix lié aux services environnementaux auxquels a accès le bien (Hardelin, Katossky & Marical 2010).

- ⇨ Des méthodes controversées : **l'évaluation contingente et l'analyse conjointe** sont basées sur l'utilisation d'enquêtes auprès des utilisateurs d'un espace naturel ou des personnes habitant à proximité afin de leur demander, directement ou indirectement, quelle valeur ils accordent, par exemple, à un écosystème donné. Ces « *consentements à payer* » des individus sont ensuite additionnées sur l'ensemble de la population pour estimer la valeur de l'écosystème (Hardelin, Katossky & Marical 2010).

Si ces dernières méthodes semblent avoir la préférence de (Hardelin, Katossky & Marical 2010) ainsi que de nombreux autres économistes de l'environnement, elles sont également particulièrement critiquées par des auteurs tels que J.M. Harribey, J. Gadrey et J. Milanesi, pour ne citer que des auteurs français. Ainsi, pour J. Milanesi, pour qu'il y ait évaluation contingente, « *il faut qu'il y ait possibilité de substitution : il faut que les individus soient en capacité de substituer un état de l'environnement à leur revenu monétaire et qu'ils soient donc dénués de comportements moraux qui pourraient briser ces possibilités de substitution* » (Milanesi 2010). J. Milanesi constate d'ailleurs que, si la question de la substitution est posée trop clairement, ce type d'enquêtes fait souvent l'objet de forts taux de refus de réponse, du fait même des positionnements éthiques des individus les amenant à penser que les biens évalués ne peuvent faire l'objet d'aucune transaction monétaire. La perte d'espèces en danger, la destruction de zones naturelles vierges ou la perte de vie humaine sont tout simplement considérées par la plupart des gens comme incommensurables en valeurs monétaires (André, Bitondo 2001). Cela amène alors les praticiens de la méthode à détourner les questionnements posés au public en évitant de faire prendre conscience aux personnes enquêtées que ce qui est évalué, in fine, sera une substitution entre bien naturel et monnaie.

Ainsi, la monétarisation des valeurs non-économiques (telle que fixer un prix à la vie humaine) peut être vue comme un moyen de déshumaniser et dévaluer ces valeurs en contribuant à tout « *chosifier* » (Gasparatos 2012). Si elles sont trop généralisées, il nous semble que ces approches d'évaluation monétaire risquent de modifier les représentations sociales de l'environnement et de ses dégradations en les orientant vers une représentation économique de l'environnement, au même titre que d'autres. Cela risque donc de promouvoir la représentation sociale des ressources naturelles comme un bien substituable aux autres types de capitaux et de contribuer à faire oublier les limites de cette substitution.

J. Bebbington souligne qu' « *il ne viendrait à personne l'idée d'offrir de l'argent à un ami pour « compenser » une invitation que l'on n'aurait pas honorée car nous considérons tout simplement l'amitié comme incommensurable avec l'argent. De la même façon, nous ne considèrerions jamais le « coût d'opportunité » de ne pas manger son animal de compagnie ou de ne pas le vendre à un laboratoire pour le livrer à des expérimentations* » (Bebbington 2007) (notre traduction).

Nous rejoignons J. Gadrey lorsqu'il souligne qu' « *un peu de calcul économique simple et mis en débat citoyen peut en revanche faire partie des arguments si on lui applique des principes de précaution et s'il n'occupe qu'une place réduite dans l'ensemble des considérations. Le premier des principes de précaution me semble le suivant : on ne peut en aucun cas définir (ni mesurer) la valeur économique d'une espèce ni d'un écosystème ni de tous les « services » de la nature. Et la pire des*

solutions est « l'évaluation contingente » […] Il n'y a que la délibération démocratique comme outil de confrontation de toutes les valeurs et de toutes les richesses auxquelles nous tenons » (Gadrey 22 avril 2011).

Ainsi, en dépit de sollicitations fréquentes de la part de nos partenaires de recherche qui, souvent faute de réflexions préalables sur les postulats sous-jacents à cette approche, souhaitent une évaluation monétaire de leurs impacts, nous refusons de nous positionner sur cette approche. Cela implique évidemment de développer auprès de nos partenaires un argumentaire pour expliquer notre position, qu'ils comprennent généralement très rapidement.

2.5 Synthèse du chapitre sur les enjeux environnementaux planétaires et locaux

Dans ce chapitre , nous avons vu que l'humanité est confrontée à l'atteinte de limites planétaires pour une dizaine de processus écologiques : changements climatiques, taux de perte en biodiversité, perturbations des cycles de l'azote et du phosphore, trou dans la couche d'ozone, acidification des océans, utilisation planétaire d'eau douce, changement d'affectation des sols, charge en aérosols atmosphériques et pollution chimique (Rockstrom, 2009). De ce fait, les ressources biologiques dont nous dépendons risquent de subir des transformations rapides et imprévisibles à l'horizon de quelques générations (Barnosky et al. 2012). D'autres sujets font également l'objet de préoccupations : pics d'épuisement des ressources fossiles et des matières premières minérales, risques industriels et nucléaires, par exemple. Ces sujets de préoccupation appellent à des changements, à court et moyen termes de nos modes de vie (United Nations Environment Programme (UNEP) 2012a). L' hypothèse directrice de nos travaux est que si l'on veut éviter que ces changements soient imposés à nos sociétés par la raréfaction des ressources et les crises économiques et sociales qui y seront probablement associées, il est nécessaire (même si non suffisant) que les acteurs des différents niveaux, des citoyens aux politiques, en passant par les organisations telles que les entreprises, s'approprient les connaissances sur les enjeux écologiques qui se posent à nos sociétés. Cette hypothèse pose la question de la diffusion et la mobilisation des connaissances. La connaissance peut-être définie comme « *un processus humain dynamique qui conduit à justifier ses croyances personnelles vers une "vérité »* » (Nonaka, Toyama & Konno 2000). Elle s'échange selon différents modes, explicites et implicites. Ainsi, si la formalisation des connaissances est nécessaire et peut permettre une diffusion plus large des connaissances explicites, elle ne peut suffire pour l'appropriation individuelle et collective des connaissances (Nonaka, Toyama & Konno 2000). En particulier, dans le domaine de la durabilité, un modèle alternatif d'échange d'informations et de connaissances pourrait avoir pour objectif de «*réconcilier*» le monde scientifique, celui des politiques et celui des acteurs de terrain en suscitant des processus qui faciliteraient les interactions entre ces différents mondes (Shaxson, Bielak & et al. 2012.). Le partage des connaissances relatives aux impacts environnementaux, et plus généralement à la soutenabilité, nous semble donc être une condition nécessaire, même si largement insuffisante, à la mise en place de meilleures

conditions de soutenabilité et de résilience de nos sociétés. Cependant, si on peut escompter que chaque acteur assure les différentes fonctions relatives à la création et au partage de connaissances lui permettant d'optimiser l'atteinte de ses propres objectifs, l'enjeu du partage des connaissances en vue d'une transition vers une société plus soutenable, est d'amener différents acteurs à prendre en compte des connaissances qu'ils ne prendraient pas spontanément en compte, voire qui entrent en conflit avec leurs intérêts particuliers, et à certaines de leurs pratiques, conventions sociales et convictions. La présence de tierces parties, tels que les médiateurs ou « *courtiers en connaissances environnementales* » (knowledge brokering), apparaît ainsi comme particulièrement nécessaire. En particulier, les démarches "top-down" de diffusion de la connaissance nous semblent moins pertinentes dans ce contexte que des approches qui font une large place au débat public. Cependant, ces nouvelles approches ne doivent pas se substituer aux processus de légitimation plus classiques de la connaissance (démarche scientifique, par exemple) qui permettent de valider et légitimer les connaissances transmises. En effet, les connaissances environnementales sont souvent complexes, empreintes d'incertitudes et parfois controversées. Leur besoin de légitimation est donc particulièrement important doivent également bénéficier (Jany-Catrice, Meda 2011).

Nos travaux de recherche dans le domaine de l'évaluation environnementale ont vocation à se situer dans la prise en compte de l'environnement au niveau stratégique. L'évaluation environnementale stratégique peut être définie comme « *une procédure d'évaluation préalable de Politique, Plan et Programme (PPP) visant à :*

- *Expliciter les enjeux environnementaux et sociaux*
- *Apprécier la cohérence des PPP au regard de l'environnement*
- *Préparer les évaluations ex post de même que les évaluations environnementales de projets éventuels »* et futurs (Guedegbe 2012).

La notion d'enjeu environnemental a été définie par (André 1999) comme « *une préoccupation majeure qui peut faire pencher la balance en faveur ou en défaveur d'un projet* ». Plusieurs typologies permettent de définir les différents enjeux environnementaux, selon plusieurs niveaux d'agrégation (impacts – dommages, par exemple). Par exemple, les différents enjeux environnementaux peuvent être regroupés en quatre catégories : changement climatique, effets sur la nature et la biodiversité, effets sur la santé humaine, utilisation excessive de ressources naturelles (De Caevel, Ooms 2005).

L'évaluation environnementale stratégique doit donc répondre au double défi de permettre la participation du public ainsi que la prise en compte d'enjeux environnementaux divers tant par leur nature que par leur échelle temporelle et géographique. Ces deux défis ne sont pas sans contradiction. Comment, par exemple, intégrer dans les débats les acteurs absents, pouvant être définis comme « *le vivant biologique et les générations futures, ceux qui ne peuvent être présents à la table des négociations et qui sont pourtant porteurs d'enjeux* » (Sébastien, Paran 2004) ? Comment équilibrer la prise en compte des enjeux locaux et celles des impacts planétaires ?

Dans cette optique, une autre hypothèse sous-jacente à nos travaux de recherche est qu'il est nécessaire de définir des indicateurs représentant les impacts environnementaux générés par

les activités humaines et d'encourager leur prise en compte dans les décisions des différents acteurs. Ceci nous semble nécessaire tant au niveau "macro" des nations qu'au niveau "micro", c'est-à-dire à l'échelle de chaque organisation (entreprises ou établissements publics). C'est principalement à ce niveau « micro » que se situent plus particulièrement nos travaux portant sur l'évaluation des pressions exercées par les activités humaines sur l'environnement. Cependant, au-delà du cadre classique d'évaluation DPSIR (Force motrice – Pression – État – Impact – Réponses), les méthodes d'évaluation actuelles tendent vers une reconnaissance plus forte des interactions entre l'homme et la nature en vue d'évaluer et analyser les changements intervenus dans l'état de l'environnement (United Nations Environment Programme (UNEP) 2002). Ainsi, à l'image de la méthode d'évaluation des services écosystémiques, il nous semble que les méthodes d'évaluation environnementale tendent aujourd'hui vers l'analyse des relations entre l'Homme et l'environnement, prenant ainsi en compte simultanément différentes composantes du cadre DPSIR.

En contribuant à la création de nouvelles connaissances, l'évaluation des pressions exercées par les activités humaines sur l'environnement peut générer de "nouvelles" représentations de l'environnement, qui peuvent être des éléments décisionnels supplémentaires à prendre en compte par les acteurs territoriaux. Il nous semble donc important de reconnaître que les outils d'évaluation, quels qu'ils soient, reposent sur des hypothèses, souvent implicites, issues d'un système de valeurs (Gasparatos, Scolobig 2012). En particulier, le choix, ou non, de faire reposer les méthodes de calcul sur l'hypothèse de substituabilité entre capital humain et capital naturel nous semble central dans le choix des outils d'évaluation environnementale. Selon cette hypothèse, souvent implicite, le montant des investissements dans du capital produit par l'Homme (bâtiments, routes, connaissances, etc.) viendrait compenser les stocks déclinant de ressources non renouvelables afin de garder constante la consommation et, par conséquent, le niveau de « *bien-être* » des individus. Mais cette hypothèse a été remise en cause dès les années 1980. En particulier, P. Ehrlich a souligné les risques potentiels générés par la substitution entre êtres vivants (Ehrlich, Mooney 1983). Dans son sillon, en 1982, est né le courant « d'économistes écologistes », selon lequel « *la condition nécessaire à la soutenabilité est le maintien du stock complet de capital naturel. Même si un stock plus faible de capital naturel peut être soutenable, la société ne peut plus se permettre le déclin du capital naturel compte-tenu des incertitudes importantes et des conséquences terribles des erreurs d'appréciation. Cette règle de constance du capital naturel total peut ainsi être vue comme une condition a minima de prudence pour assurer la soutenabilité, et n'être assouplie que si des preuves solides montrent que cela est prudent* » (Costanza, Daly 1992) (notre traduction). Ces réflexions nous amènent à essayer d'éviter de développer, dans nos travaux de recherche, des outils d'évaluation reposant, de façon plus ou moins implicite, sur le postulat de substituabilité entre capital naturel et capital humain. Nous écarterons donc a priori les outils basés sur une évaluation monétaire de l'environnement.

Dans le chapitre suivant, nous verrons comment évaluer la durabilité ou la non-durabilité, ainsi que les verrous scientifiques posés par ce thème de recherche.

3. Evaluer la durabilité, ou non-durabilité, écologique : une démarche interdisciplinaire qui s'affirme

« Le soleil s'est levé dans les bras du ciel »

Ibrahim Sawadogo, rencontré à Ouagadougou, 2003

Nos travaux se positionnent dans le contexte que nous venons de décrire. Ils ont pour ambition de proposer et expérimenter des méthodes d'évaluations environnementales pour permettre aux différents acteurs de réduire les pressions qu'ils exercent sur l'environnement, afin de les guider dans une transition vers des modes de faire plus soutenables écologiquement. Cet objet de recherche se situe à l'interface entre la création de connaissances scientifiques et l'observation, voire la modification des pratiques. La plupart de nos travaux se positionnent ainsi dans une démarche de recherche-intervention.

3.1 Un positionnement particulier : des travaux interdisciplinaires basés sur la recherche-intervention

"You can be true, you can be false
You be given the same reward
Socrates and Milhous Nixon
Both went the same way - through the kitchen"

The Clash, *The Magnificent Seven*, 1980

Si les enjeux liés à la soutenabilité écologique soulèvent de nombreux dilemmes et conflits ((Boutaud 2005), (Gondran 2006a), par exemple), D. Kammen souligne quatre points qui semblent faire l'objet de consensus :

- L'action politique est souvent requise dans des conditions d'incertitude, avant d'avoir atteint un consensus scientifique définitif (Kammen, Dove 1997).
- Des politiques environnementales doivent aborder la question de l'exploitation des ressources (Kammen, Dove 1997).
- La théorie économique actuelle n'est pas adaptée aux problématiques posées par la gestion des ressources naturelles et des écosystèmes (Kammen, Dove 1997).
- Des recherches interdisciplinaires sont essentielles pour comprendre et appréhender la soutenabilité (Kammen, Dove 1997).

Cependant, selon les standards académiques classiques, la définition des sujets de recherche « *de pointe* » excluent souvent des sujets qui affectent un grand nombre de personnes et qui ont pourtant des impacts très importants sur l'environnement. « *La vie de tous les jours est rarement l'objet de recherche* » (Kammen, Dove 1997).

Notre objet de recherche, à l'interface entre activités humaines et environnement, impose selon nous, un positionnement de recherche orienté dans cette double perspective de « *recherche sur la vie quotidienne* », et, du fait du positionnement thématique de notre centre de

recherche, plus particulièrement sur les organisations professionnelles que sur la vie domestique. Nous nous intéressons donc plus particulièrement aux impacts générés par le fonctionnement quotidien d'organisations professionnelles, qu'elles soient privées (PME, grandes entreprises) ou publiques (service décentralisé de l'Etat, Parc National, collectivités locales). Nous avons également adopté une position pluri- et interdisciplinaire. Selon R. Norgaard, une discipline émerge lorsqu'un groupe partage les mêmes modèles, hypothèses et valeurs (Norgaard 2002). Si ces hypothèses et valeurs permettent de faire le lien entre la connaissance et la réalité, elles éludent une partie de la complexité du réel (Norgaard 2002). Chacun passe la plupart de son temps avec des gens qui possèdent le même profil (mêmes formations, lectures et sources d'information) et partagent souvent les mêmes hypothèses implicites. Cela réduit les occasions où les spécialistes de différentes disciplines peuvent confronter leurs hypothèses et résultats de recherche. De plus, la spécialisation croissante de chacun augmente le nombre sous-jacent d'hypothèses et rétrécit son champ de vision (Norgaard 2002). Les "spécialistes" finissent donc souvent par oublier l'existence de ces hypothèses et valeurs ainsi que le décalage entre modèles utilisés et réalité. Cet oubli explique les difficultés rencontrées par les équipes "pluridisciplinaires" qui essaient de réunir autour d'un même projet des spécialistes qui ne partagent pas de langage, hypothèses et valeurs communs. Chacun ne pourra donc enrichir sa vision de la réalité qu'en connaissant les hypothèses d'autres disciplines à travers une pratique réelle de ces disciplines (Gondran, Kammen 2004).

Certains auteurs et institutions, telles que l'UNESCO par exemple, appellent à des ruptures des pratiques scientifiques qui vont au-delà de la pluri- ou de l'interdisciplinarité, en invoquant la transdisciplinarité qui peut être définie comme une « *pratique de production du savoir, liée à l'émergence de problèmes contemporains dans le domaine de l'environnement, de la santé, et du développement et qui mettent en évidence, non seulement les abus auxquels la science peut aboutir mais aussi ses limites afin de trouver des solutions adéquates*» (Pigot, Leroy 2001). Cette pratique part du constat, d'une part, que les interrelations entre milieux physiques et activités humaines sont « *parties prenantes dans les aspects sociaux, politiques et normatifs propres aux sociétés humaines* » (Pigot, Leroy 2001). Les uns ne peuvent donc pas être observés scientifiquement indépendamment des autres si l'on veut pouvoir faire face à la complexité de ces interrelations. D'autre part, la transdisciplinarité a pour vocation de permettre la production de savoirs non seulement « *scientifiquement acceptables* », mais aussi « *socialement robustes* » et « *politiquement acceptables* » (Pigot, Leroy 2001), ce qui nécessite l'engagement et la coopération des acteurs concernés, au sein même des recherches.

Dans cette optique, nous nous positionnons dans une posture de *recherche-intervention* qui vise à coproduire des connaissances en interagissant avec les acteurs des organisations sur lesquelles portent nos travaux de recherche (Mérini, Ponté 2008). Cette posture se situe dans la continuité de celle de recherche-action, introduite par le psychologue Kurt Lewin, dans les années 1940, qui peut se définir comme un « *processus collectif mettant en relation des chercheurs et des praticiens visant à résoudre un savoir en prise directe sur les pratiques des acteurs sociaux* » (Hess, 1989) cité par (Mérini, Ponté 2008). Cependant, contrairement à la recherche-action, la recherche-intervention « *n'est pas seulement une recherche sur l'action mais une recherche dans l'action* » (Lalle 2004).

Cette démarche se traduit par le choix de poser des problématiques de recherche « *enracinées dans la réalité* » et la volonté d'impliquer les différents acteurs concernés par le projet de recherche selon un mode d'apprentissage collaboratif (Cappelletti 2010). Cette démarche collaborative peut éventuellement amener le chercheur à réviser régulièrement ses hypothèses de recherche, voire à les élaborer au fur et à mesure de l'avancée du projet. L'objectif de la recherche-intervention est ainsi de coproduire des connaissances avec le terrain étudié en le transformant (Cappelletti 2010). Généralement, les résultats sont ainsi présentés au groupe régulièrement (en particulier grâce à la mise en place d'un comité de pilotage du projet) et font l'objet de débats permettant de dégager les possibilités d'amélioration et de stratégies d'action (Mérini, Ponté 2008) en vue de la réduction des impacts environnementaux de l'organisation étudiée.

Cette posture de recherche-intervention est potentiellement problématique pour des raisons de proximité : « *proximité de positions entre celle de chercheur et celle de praticien, proximité de fonctions entre la perspective épistémique et la perspective transformative, proximité de champs entre l'observation et l'action* » (Mérini, Ponté 2008).

Nous sommes tout à fait conscients de cet aspect doublement problématique, du fait de l'interdisciplinarité, et de notre posture de recherche-intervention. Cependant, nous revendiquons ce double parti-pris qui, selon nous, s'impose du fait même de notre objet de recherche, mais également de notre positionnement au sein d'une Ecole des Mines, dont les activités de recherche scientifiques et technologiques doivent se faire « *notamment en partenariat avec les entreprises et d'autres acteurs socio-économiques* », et viser à constituer « *un pôle d'expertise au sein de l'Etat en matière de politiques économiques et de régulations associées* » (Ministre de l'économie, des finances et de l'industrie 2012). Cette posture interdisciplinaire et de recherche-intervention est également revendiquée par les chercheurs d'ERG, de l'UC Berkeley. Afin de construire collectivement leurs démarches méthodologiques, une demi-journée par semaine (facultative pour les étudiants, mais obligatoire pour les professeurs) est réservée aux échanges entre étudiants et enseignants au cours de séminaires et colloques afin d'échanger sur les postulats de chacun et les différents positionnements méthodologiques. Nous avions profité de notre séjour post doctoral de trois mois au sein de ce groupe, en 2002, pour observer leurs pratiques à cette fin. Ces observations ont été présentées dans (Gondran, Kammen 2004).

L'Energy and Resources Group, de l'Université de Californie de Berkeley, est composé d'une dizaine de chercheurs permanents, tous issus de disciplines différentes, d'une centaine de chercheurs affiliés et d'étudiants partageant une vision commune. Créé en 1973, sa mission est de « *développer et transmettre les connaissances critiques nécessaires à la construction d'un futur possible dans lequel les besoins matériels humains et les exigences d'un environnement sain soient mutuellement et durablement satisfaits* »[8]. Les élèves, qui ont été formés en ERG aux niveaux de maîtrise et de doctorat, sont ensuite employés dans diverses structures (gouvernementales, académiques, associatives ou commerciales) dans le domaine de l'énergie et de

[8] ERG (Energy and Resources Group) (2012). All about ERG. Disponible sur Internet : http://erg.berkeley.edu/info/about.shtml , consulté le 5 juin 2012

l'environnement. Cette expérience est associée à un effort épistémologique permanent visant à définir collectivement une culture partagée ainsi que des principes communs de production des connaissances.

Plus proche de nous, en France et plus particulièrement dans la région Rhône-Alpes, l'UMR 5600 "Environnement Ville Société" traite « *des modalités par lesquelles les sociétés contemporaines fortement urbanisées constituent et instituent leurs environnements. Les "environnements" dont il est question ne sont pas pris dans un registre d'analyse opposant la "nature" » à la "société" ou, pour ce qui concerne l'urbanisation, la "nature" à la "cité", mais plutôt comme aménagement et parfois ménagement d'un milieu donné, approprié à l'activité anthropique* ».[9] Résolument pluridisciplinaire, cette UMR recouvre une diversité épistémologique et heuristique centrée sur les « sciences des territoires et de l'environnement ». Lors de sa première campagne d'évaluation, elle couvrait l'essentiel du spectre disciplinaire regroupé sous l'intitulé « Sciences de l'Homme et de la Société ». Afin d'élargir ce spectre aux champs de l'ingénierie, notre équipe de recherche a rejoint cette UMR. C'est donc dans ce contexte que nous positionnons notre projet de recherche. Ce cadre, multi-établissements et pluridisciplinaires sera privilégié pour mener des réflexions théoriques et des applications pratiques sur la nature-même des processus de production des connaissances liés à notre objet de recherche. De façon plus concrète, les différents axes de notre projet de recherche pourront se positionner dans des thèmes ou approches existant au sein de cette UMR afin de stimuler les réflexions sur les moyens d'échanges entre disciplines, les méthodologies permettant, sur un objet de recherche donné, de croiser les disciplines et d'impliquer les acteurs concernés afin d'acquérir des connaissances nouvelles.

Ce contexte me semble également bénéfique aux étudiants que j'encadre (étudiants de master recherche et doctorants). En effet, des rencontres régulières (dans le cadre de séminaires de recherche, par exemple) avec d'autres étudiants, issus de disciplines différentes, mais confrontés aux mêmes difficultés méthodologiques, peuvent les aider à prendre du recul sur leurs propres pratiques afin de mieux gérer les difficultés liées à ce positionnement spécifique. D'autre part, je leur conseille régulièrement la lecture de l'ouvrage méthodologique (Quivy, Van 2011) qui vient formaliser de façon très pédagogique la démarche de recherche-intervention. Dans le cadre d'encadrement de travaux de recherche, nous portons ainsi, par exemple, une attention particulière à la formalisation des différentes hypothèses sous-jacentes aux travaux effectués et à la définition de la problématique et question de recherche.

Ce contexte du positionnement scientifique étant esquissé, abordons maintenant plus précisément les différentes méthodes utilisées, ou développées dans le cadre de nos travaux de recherche.

---

[9] UMR 5600 « Environnement Ville Société ». Campagne d'évaluation 2011-2014 PROJET UMR 5600 «Environnement Ville Société» «la formation des environnements et les urbanisations contemporaines» (Partie I : Projet scientifique)

3.2 Les méthodologies de comptabilité environnementale : des outils de représentation des enjeux environnementaux

« Quand les animaux en auront plein le dos
On aura beau
Recoller nos copeaux
On aura beau
On sera pas beau
Sans nos baleines
Nos éléphanteaux »

Têtes raides, *Les animaux, 2006*

Une des principales difficultés de l'évaluation de la durabilité est d'amener les décideurs à prendre en compte d'autres dimensions que la seule dimension économique, et d'intégrer dans leurs décisions des préoccupations de long terme et concernant d'autres acteurs que l'organisation dont ils sont responsables. Plus particulièrement, nous faisons l'hypothèse que la mise en place d'une comptabilité environnementale permet de donner une meilleure compréhension et visibilité aux enjeux environnementaux.

Ainsi, dans une perspective d'aide à la décision, la question est d'identifier quelles méthodes de comptabilité environnementale, et donc quelles représentations peuvent aider les organisations à identifier les pressions environnementales qu'elles exercent afin de les encourager à les réduire. Les systèmes d'information, sur lesquels reposent spontanément les prises de décisions des organisations, sont majoritairement basés sur des critères économiques. En effet, par définition, une entreprise a pour seule obligation juridique d'équilibrer ses comptes, voire de faire des bénéfices chaque année (pour payer ses fournisseurs, ses employés, ses impôts, etc.). S'il existe des « gardes fous » en termes de respect du droit de l'environnement, du code du travail, etc., elle a peu d'incitations pour aller plus loin en termes de prise en compte de l'environnement et du long terme, si ce n'est des enjeux stratégiques (images, positionnement sur de nouveaux marchés, etc.). Or, comment prendre des décisions visant à réduire les pressions environnementales générées par une activité donnée si les décideurs n'ont pas d'éléments d'information sur ces pressions sur l'environnement ?

Contrairement à l'évaluation économique où les mêmes indicateurs peuvent être utilisés dans différents contextes et où l'ensemble des dimensions du problème sont ramenées à une évaluation monétaire (en euros ou en dollars, par exemple), l'évaluation de la durabilité se caractérise par la prise en compte de multiples dimensions caractérisant des systèmes complexes. Réfléchir en termes de durabilité implique en partie d'élargir le spectre de la comptabilité environnementale dans trois domaines :

- Le *périmètre* en termes de responsabilités : il ne s'agit plus seulement de prendre en compte les impacts directs générés par l'organisation, mais également ses impacts indirects, allant au-delà de la responsabilité juridique.

- Le *champ thématique des enjeux* à prendre en compte : il s'agit, nous l'avons vu, d'aller au-delà des seuls impacts économiques d'une organisation, ou d'une action, donnée. La difficulté est alors d'amener les décideurs à prendre en compte des thèmes dont ils n'ont pas spontanément conscience (impact sur la biodiversité, les ressources en eaux ou le changement climatique, par exemple).
- La *dimension temporelle* doit également être envisagée. On ne cherche plus seulement à évaluer les impacts à court terme, mais également à moyen, voire long terme.

3.2.1 Le choix d'une approche de comptabilité environnementale basée sur les consommations

Notre positionnement se veut à l'interface entre les outils de niveau "macro" (au niveau national, par exemple) et les outils "micro", au niveau de chaque organisation. En effet, si, en économie, le Pib est « *égal à la somme des valeurs ajoutées brutes des différents secteurs institutionnels ou des différentes branches d'activité, augmentée des impôts moins les subventions sur les produits (lesquels ne sont pas affectés aux secteurs et aux branches d'activité)* » (INSEE 2013), l'interface est peu formalisée entre les outils d'évaluation environnementale existant au niveau des territoires et ceux existant à l'échelle des organisations (entreprises, par exemple). Ainsi, contrairement à ce que le sens commun pourrait laisser penser, le bilan des émissions de gaz à effet de serre d'un territoire n'est pas égal à la somme des bilans des émissions de gaz à effet de serre des différentes organisations situées sur ce territoire. Ce phénomène s'explique par le choix d'introduire, dans le périmètre d'observation des bilans, des émissions dites "indirectes", c'est-à-dire liées aux activités de l'organisation étudiée, mais non directement générées par ces activités. Il ne s'agit pas de remettre en cause ce choix, pertinent en termes d'aide à la décision des acteurs, objectif qui, comme nous l'avons vu précédemment, prédomine dans le contexte de l'évaluation environnementale. Nous ne chercherons donc pas à proposer des méthodes parfaitement transposables entre les différents niveaux territoriaux. Cependant, nous chercherons à réfléchir aux possibilités de transposition d'indicateurs existant à un niveau donné vers d'autres niveaux. Par exemple, plusieurs de nos travaux ont permis de formaliser des propositions méthodologiques pour l'utilisation de l'empreinte écologique à l'échelle d'une organisation ou de territoires infranationaux, alors que cet indicateur est le plus classiquement calculé au niveau des Nations. Ces "descentes d'échelle" d'indicateurs posent cependant de nombreuses questions.

Une des premières questions posées par l'évaluation environnementale à l'échelle de l'organisation, est ainsi celle du *périmètre* de l'évaluation. En effet, chaque organisation exerce des pressions sur l'environnement *directement*, c'est-à-dire qu'elles sont générées au sein de l'organisation et qu'elles relèvent de sa responsabilité juridique directe (rejets d'eaux usées, par exemple), mais également *indirectement*, du fait de ses activités ou des choix inhérents à son fonctionnement. Les *pressions directes* sur l'environnement sont très encadrées juridiquement, en particulier dans le cadre de la législation sur les installations classées pour la protection de l'environnement (Livre V : Prévention des pollutions, des risques et des nuisances du Code de l'environnement). Cette législation a pour origine le décret impérial

du 15 octobre 1810 relatif aux manufactures et ateliers insalubres, incommodes ou dangereux. Ce décret avait pour objectif de protéger les populations voisines d'usines, telles que les mégisseries, des nuisances olfactives. Il a mis en place trois classes d'établissements selon le niveau de nuisances générées, nécessitant une permission locale ou nationale selon la classe. En 1917, la Loi du 19 décembre 1917 relative aux établissements dangereux, insalubres ou incommodes est venue renforcer les sanctions et les contrôles en organisant le corps des inspections des installations classées. En 1976, la Loi du 19 juillet 1976 relative aux installations classées pour la Protection de l'Environnement est basée sur le principe de l'approche intégrée. Pour un site donné, une seule autorisation préfectorale reprend l'ensemble des exigences pour tous les impacts et une seule autorité compétente (le Préfet et ses services techniques).

La question des *pressions indirectes* est plus délicate à traiter en termes de régulation environnementale. Cette problématique ne doit cependant pas être négligée dans une perspective de réduction des impacts environnementaux. En effet, de nombreuses organisations génèrent des pressions environnementales directes relativement faibles, mais exercent des activités (définition de cahiers des charges, prestations de services, choix d'achats, immobilisations, par exemple) qui sont à l'origine d'impacts qui seront "physiquement" et juridiquement générés par d'autres acteurs. Ces derniers, bien qu'à l'origine des pressions environnementales directes, sont cependant contraints par les choix effectués en amont dans la chaîne de décision. Par exemple, si un service de l'Etat est chargé de la construction d'une route, ce n'est pas lui qui exercera directement les pressions liées au chantier, mais l'entreprise prestataire des travaux. Cependant, les décisions prises par ce service de l'Etat auront des répercussions importantes par rapport aux impacts générés par le chantier routier puis par l'infrastructure elle-même une fois construite. De même, du fait de l'externalisation de nombreuses activités considérées comme polluantes, il nous semble nécessaire d'estimer les enjeux environnementaux, les émissions, mais aussi les consommations d'énergie et matériaux, liés à la fabrication des biens et services utilisés par l'organisation étudiée.

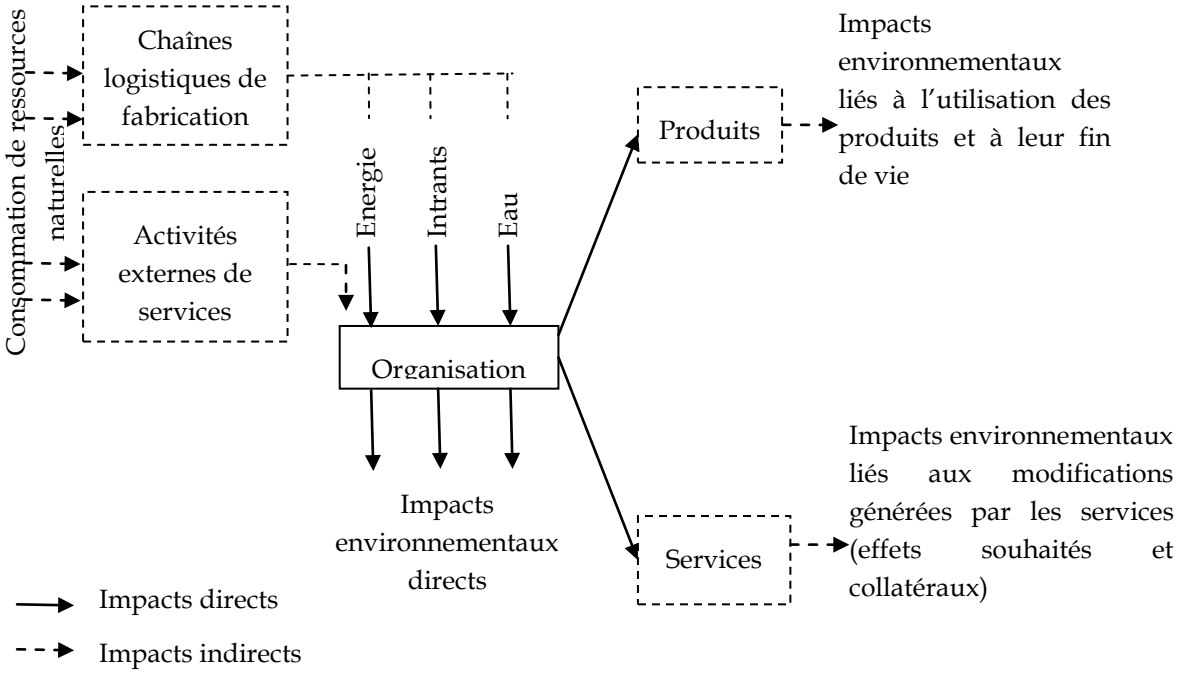


Figure 20. Représentation des différents impacts, directs et indirects, d'une organisation

L'évaluation globale des impacts environnementaux générés par une organisation donnée ne se limite donc pas aux seuls impacts directs qu'elle génère. Sa responsabilité, directe ou indirecte, s'étend à un périmètre bien plus large.

Par exemple, pour les organisations qui fabriquent et/ou vendent des produits, la politique européenne des déchets exige que « *la personne physique ou morale qui élabore, fabrique, manipule, traite, vend ou importe des produits (le producteur du produit) soit soumise au régime de* ***responsabilité élargie des producteurs****. De telles mesures peuvent notamment prévoir le fait d'accepter les produits renvoyés et les déchets qui subsistent après l'utilisation de ces produits, ainsi que la gestion qui en découle et la responsabilité financière de telles activités. Ces mesures peuvent prévoir l'obligation de fournir des informations accessibles au public sur la mesure dans laquelle le produit peut faire l'objet d'un réemploi ou être recyclé* » (Parlement Européen et Conseil Européen 2008). Ainsi, les entreprises, qui fabriquent et vendent des produits, peuvent être considérées comme responsables juridiquement des impacts générés par la fin de vie de ces produits.

De même, les organisations fournissant des services peuvent, dans une certaine mesure, vouloir évaluer les conséquences environnementales (souhaitées ou non) générées par les services proposés.

D'un autre côté, la comptabilité basée sur la consommation[10] s'avère de plus en plus pertinente dans un contexte de production mondialisée. L'approche « *consumption-based accounting* » est aujourd'hui largement documentée (voir par exemple les travaux de

[10] Nommée, en anglais, consumption based accounting (CBA)

(Bastianoni, Pulselli & Tiezzi 2004), (Lenzen et al. 2007), (CP/RAC 2008), (Wiedmann 2009a), (Boutaud, Gondran 2009), (Galli et al. 2012)). Même si l'utilisateur final n'est pas juridiquement tenu pour responsable des impacts générés lors de l'ensemble du cycle de vie des biens ou services qu'il utilise, le principe de cette approche est d'attribuer les impacts environnementaux générés par la production d'un bien ou d'un service à son consommateur, quel que soit son endroit de production (Wiedmann 2009a). En effet, « *les biens et services ne seraient pas produits, vendus, achetés et échangés à travers les frontières s'il n'y avait pas de demande finale* » (Rothman 1998).

La mondialisation, qui repose largement sur le commerce et les échanges internationaux, rend complexe l'identification de la "responsabilité" des différents acteurs sur les différents impacts environnementaux. Il ne s'agit pas de chercher à identifier un responsable unique par rapport aux impacts environnementaux générés aux différentes phases de vie des biens et services consommés, mais bien au contraire d'amener les différents acteurs (entreprises productrices, consommateurs finaux, collectivités territoriales, etc.) à prendre conscience de l'ensemble des impacts générés par leur activité, quitte à mettre en évidence des « double-comptages » dans le cas où un même impact peut être alloué à différents acteurs du fait de l'empilement des responsabilités sur certaines phases de vie des produits (fin de vie, par exemple). Ainsi, si les cadres législatifs actuels, qui considèrent les *producteurs* comme responsables de l'impact environnemental plutôt que les *consommateurs finaux* (protocole de Kyoto, par exemple) encouragent la mise en place de démarches d'efficacité énergétique à l'échelle territoriale, ils ont également des effets pervers qui peuvent conduire les pays industrialisés à délocaliser leurs activités les plus impactantes sur l'environnement vers des pays émergents où ces activités sont généralement mises en œuvre à des coûts économiques plus avantageux, mais dans des conditions sociales et environnementales moins ambitieuses ((Boutaud, Gondran & Brodhag 2006), (Galli et al. 2012)). Ce phénomène cause probablement une augmentation globale des pressions environnementales liées à la consommation. En effet, outre l'augmentation des flux de transport que cela génère, les pays ont tendance à importer des biens fabriqués de façon peu efficace sur le plan environnemental afin de pérenniser leurs modes de consommation (Galli et al. 2012).

La comptabilité environnementale basée sur les consommations présente ainsi plusieurs opportunités afin de mieux observer ces tendances (CP/RAC 2008) :

- Elle complète les approches basées sur les émissions territoriales, permettant ainsi d'identifier les causes des émissions associées à la consommation.
- Les informations complémentaires ainsi obtenues peuvent être utiles dans le cadre des politiques internationales (sur le changement climatique, par exemple).
- Elle propose une meilleure compréhension de la responsabilité commune mais différenciée des différents pays.
- Elle permet de quantifier les relations économiques et environnementales entre les pays. Dans le cadre de la lutte contre les changements climatiques, cela peut aider à déterminer un prix harmonisé pour les émissions de gaz à effet de serre.

- Elle peut encourager et faciliter la coopération internationale entre les pays du Nord et ceux du sud.
- En tant qu'outil de communication, elle peut sensibiliser les consommateurs aux émissions de gaz à effet de serre (mais cela peut également s'appliquer aux autres impacts environnementaux) liées à leur mode de vie et choix de consommation. De la même façon, elle peut sensibiliser acteurs publics et entreprises quant à leurs émissions indirectes.

Ainsi, en identifiant les points noirs et tendances non soutenables liées aux modes de consommation actuels, les outils de comptabilité environnementale peuvent contribuer à l'élaboration de stratégies locales, régionales ou nationales, visant à rendre plus soutenables nos modes de production et de consommation (Wiedmann 2009b).

Après des années de débat (voir par exemple (Bastianoni, Pulselli & Tiezzi 2004), (Lenzen et al. 2007) et (Hertwich, Peters 2009)), les outils de comptabilité environnementale deviennent de plus en plus pertinents et reconnus par les décideurs et acteurs politiques (Galli et al. 2012).

3.2.2 Un élargissement des champs de la comptabilité environnementale à partir d'approches multicritères ou basées sur les flux biophysiques

Sur la base des éléments précisés dans les chapitres 2.3.3 et 2.4, nous ne retiendrons pas a priori le recours aux méthodes d'évaluation monétaire de l'environnement. Plusieurs partenaires de recherche nous ont déjà fait part de leur souhait de tendre, à l'échelle de leur organisation, vers des outils visant à estimer les "coûts environnementaux" générés par leur activité. Nous comprenons bien leurs motivations en termes de simplicité de lecture et d'interprétation des résultats en vue d'une meilleure prise en compte des questions environnementales dans leurs décisions. Cependant, pour les raisons évoquées dans le chapitre 2.4, nous privilégions les outils multicritères ou basés sur les flux biophysiques (empreinte écologique, par exemple). Outre les arguments développés dans les chapitres précédents pour justifier cette position, nous pensons que les outils multicritères ou basés sur les flux biophysiques permettent, d'une part d'investir davantage en profondeur les enjeux environnementaux soulevés, plutôt que de les globaliser sous forme de coûts, et d'autre part, ils obligent également à formaliser les préférences des différents acteurs concernés, ce qui implique généralement de rencontrer les diverses parties prenantes.

Ainsi, nous avons développé deux axes méthodologiques complémentaires de recherche :

- le développement d'outils à base d'indicateurs inspirés soit des méthodologies d'analyse de risque, soit des méthodes d'analyse multicritères,
- le développement d'outils d'évaluation basés sur les flux biophysiques, et en particulier selon les méthodologies d'ACV et de l'empreinte écologique.

3.2.3 Les outils de comptabilité environnementale à base d'indicateurs

Les outils d'évaluation à base d'indicateurs trouvent leurs racines dans les théories d'aide multicritère à la décision, initiées dans les années 1980, en particulier sous l'impulsion de B. Roy (Roy 1985). Ces dernières visaient à aller plus loin, pour aider à la décision, qu'une "simple" optimisation d'une fonction économique qui « *avait le mérite de déboucher sur des problèmes mathématiques bien posés* [et quantifiables] *mais qui n'étaient pas toujours représentatifs de la réalité* » (Maystre, PICTET & SIMOS 1994). Elles reconnaissent le principe selon lequel « *lorsqu'il y a plusieurs objectifs, il est impossible de les atteindre tous à la fois* » (Maystre, PICTET & SIMOS 1994).

Selon B. Roy, « *l'aide à la décision est l'activité de celui qui, prenant appui sur des modèles clairement explicités mais non complètement formalisés, aide à obtenir des éléments de réponse aux questions que se pose un intervenant dans un processus de décisions, éléments concourant à éclairer la décision et normalement à prescrire, ou simplement à favoriser, un comportement de nature à accroître la cohérence entre l'évolution du processus d'une part, les objectifs et le système de valeurs au service desquels cet intervenant se trouve placé d'autre part* » (B. Roy, cité par (Maystre, PICTET & SIMOS 1994)). Cette vision s'inscrit dans une double perspective :

- Une approche ouvertement constructiviste qui reconnaît le problème à résoudre comme le produit des conflits potentiels entre les préférences des différents intervenants, plutôt que comme une réalité physique qui préexisterait indépendamment de la vision des différents acteurs. Selon (Maystre, PICTET & SIMOS 1994), l'objectif des méthodes d'aide multicritère à la décision présentent deux avantages : améliorer la transparence du processus de décision et mettre en évidence la responsabilité du décideur en l'aidant à formaliser les préférences des différents acteurs.
- Une vision systémique (et non déterministe), reconnaissant le monde comme un « *système complexe d'éléments interactifs* » (Saaty 1984). L'hypothèse sous-jacente est que, pour mieux affronter des « *problèmes non structurés dans les domaines social, économique et politique* », et donc également environnemental, « *il nous faut ordonner nos priorités, admettre qu'un objectif donné l'emporte sur tel autre à court terme et opérer des compromis pour servir l'intérêt général* » (Saaty 1984).

Le centre SITE, suite aux travaux de Philippe Davoine, Didier Graillot, et Christian Brodhag, s'inscrivait ouvertement dans cette double approche, constructiviste et systémique. En effet, depuis 1975, le Professeur Philippe Davoine, développait des simulateurs pédagogiques multicritères afin de fournir aux élèves ingénieurs une expérience dans la gestion d'un projet dans le domaine de l'eau (Lourdel 2005). Les élèves devaient, à travers un simulateur pédagogique déjà basé sur une structure informatique, apprendre à tenir compte des aspects économiques et sociaux inhérents à la conduite de projet en plus des aspects techniques classiquement considérés dans les écoles d'ingénieurs. Le premier jeu, Water game, utilisé de 1975 à 1989, proposait aux utilisateurs de réaliser et d'exploiter un réseau de distribution d'eau potable en tenant compte des contraintes liées à la distribution. Avec le deuxième jeu,

MISE (Modèle Intégré de Stratégie de l'Eau), créé en 1981, les élèves prospectaient de nouvelles sources d'eau potable, réalisaient et exploitaient le nouveau réseau de distribution (Graillot 1986) tout en tenant compte d'aléas intégrés dans la simulation afin de simuler les imprévus liés à la conduite de projet (Graillot, Davoine 1986). Un troisième simulateur sur ce thème du réseau d'assainissement d'eau a été développé en 1989 : PROMISE (Cres 1989). Ce simulateur plus complet modélisait le déroulement d'un projet en tenant compte des liens et des interférences entre les différentes composantes de ce projet. En 1999, la thèse de F. Baillon a proposé le simulateur pédagogique AMISE de conduite de projet appliqué à un cas de dépollution des sols. Afin d'étudier l'adéquation des modèles hydrodynamiques simplifiés construits par les apprenants aux besoins du projet dans lequel ces modèles peuvent être utilisés, deux critères d'évaluation ont été mis en évidence : la qualité de modélisation et la connaissance introduite dans le modèle (Baillon 1999). Parallèlement à ces travaux sur des simulateurs pédagogiques multicritères, l'équipe a mené des travaux de recherche croisant ingénierie informatique et environnementale pour développer des méthodes et outils d'aide à la décision multicritère (thèses de (Beaune 1992) appliquée au traitement de l'eau usée, de (Främling 1996) appliquée au choix d'un site de stockage de déchets industriels ultimes, par exemples). La thèse de K. Främling a montré la difficulté de justifier le poids et les fonctions d'utilité attribués aux critères, pourtant centraux dans ces méthodes et leurs résultats (Främling 1996). En effet, ces informations sont données par les décideurs qui sont les seuls à pouvoir les justifier. D'autre part, et en particulier dans le cadre de l'aide à la décision pour des projets potentiellement controversés tels que le choix d'un site de stockage de déchets industriels ultimes, il est nécessaire de pouvoir expliquer clairement aux décideurs les raisons qui ont conduit aux résultats fournis par les méthodes d'aide à la décision (Främling 1996). Plus les méthodes d'aide à la décision sont complexes, plus cette explication est difficile. Un intérêt majeur des méthodes d'analyse multicritère est ainsi d'aider le décideur public ou privé à formaliser ses critères de décisions et à en vérifier la cohérence et la logique (Andrieu et al. 2013). En particulier, la méthode hiérarchique multicritère (MHM), qui prend ses racines dans les travaux de SAATY (Saaty 1984) peut se révéler pertinente pour l'évaluation qualitative et/ou quantitative et la hiérarchisation des critères de décision (Andrieu et al. 2013).

Ces travaux, menés préalablement au sein de notre centre de recherche, visaient à tenir compte d'aspects économiques et sociaux pour des projets initialement axés sur des problématiques environnementales et techniques (adduction et gestion de l'eau, gestion de déchets, dépollution, par exemple). Nos travaux s'inscrivent dans cet héritage scientifique et méthodologique, mais ils ont une perspective différente puisqu'il s'agit au contraire d'encourager la prise en compte de problématiques environnementales au sein de structures, ou projets, n'en tenant pas forcément compte initialement. Ils se sont ainsi développés selon deux approches complémentaires, menées en coopération étroite avec des acteurs de terrain, dans le cadre de démarches de recherche-intervention :

- Une ***approche qualitative***, principalement développée dans une perspective d'aide à la décision et d'expérimentation de nouvelles pratiques, visant à mieux prendre en compte l'environnement (méthodes basées sur les méthodologies d'analyses des risques) puis le développement durable (méthodes qualitatives multicritères).

- Une ***approche quantitative***, développée dans le domaine de l'évaluation environnementale, et ayant pour objectif de représenter conjointement différents impacts a priori incommensurables.

3.2.4 Les outils de comptabilité environnementale basés sur les méthodes d'analyses de risques

Les premières méthodes d'évaluation environnementale sur lesquelles nous avons travaillés ont été développées dans le cadre d'un programme de recherche-intervention, mené de 2003 à 2005, visant à mettre en place un système de management environnemental au sein du Service Transports et Infrastructures (STI) de la DDE de la Loire, dans le cadre du projet routier de mise à deux fois deux voies de la RN7-RN82.

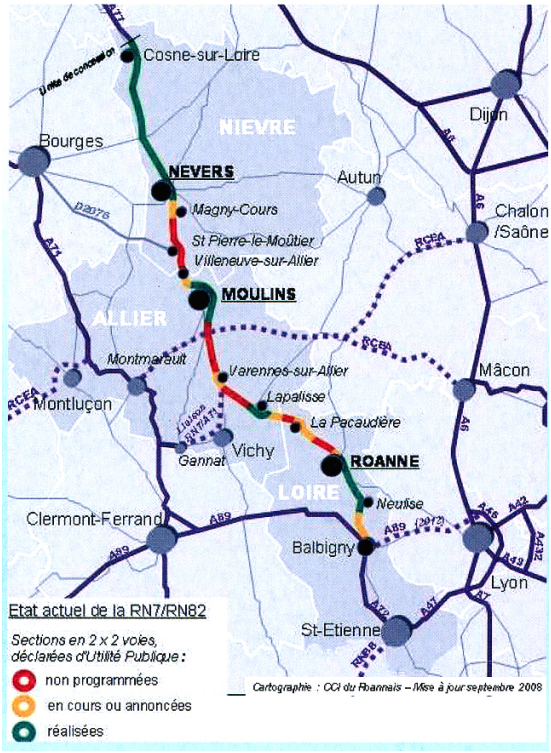


Figure 21. Avancement des travaux de mise à 2*2 voies de la RN7-RN82 dans la Loire, l'Allier et la Nièvre, en 2008 (source CCI du Roannais)

Ce projet de recherche-intervention s'est déroulé sur 5 ans. Il a consisté en un accompagnement méthodologique régulier des services de la DDE, appuyé par des stages de master recherche et d'élèves ingénieurs. Il s'agissait d'une des premières expériences de mise en place de management environnemental dans le cadre d'un projet routier. L'objectif était donc à la fois de mettre en place des méthodologies pouvant être appropriées par les services de l'Etat et d'observer les changements et freins au changement au sein d'une administration déconcentrée de l'Etat. Plus particulièrement, les opérations sur lesquelles ont porté nos études sont celles de Vendranges (au nord de Neulise, en vert sur la carte de la Figure 21)

pour l'étude de faisabilité, le tronçon entre Changy et La Pacaudière (pour la phase travaux, en orange sur la Figure 21) et le projet entre Neulise et Balbigny (pour la phase études, en orange sur la Figure 21).

Un projet routier peut être considéré comme un système complexe s'étalant sur une période temporelle de l'ordre de la décennie, et au sein duquel interviennent de nombreux acteurs aux intérêts multiples, parfois divergents et en situation d'asymétrie d'information. C'est dans ce contexte que le Service Transports et Infrastructures de la Direction Départementale de l'Equipement de la Loire (DDE 42) a souhaité assurer une traçabilité et une organisation qui permettent d'optimiser la maîtrise des impacts environnementaux inéluctables de tels projets. Le choix de la DDE 42, à ce moment-là, s'est porté sur l'utilisation du référentiel ISO 14001 afin d'organiser ce système. Ce référentiel n'impose aucun moyen méthodologique pour atteindre cet objectif. Nous nous sommes donc basés sur une méthode classique d'analyse des risques, inspirée de (Prats 2008) pour identifier et hiérarchiser les aspects et impacts environnementaux significatifs du projet routier au cours des différentes phases (études et chantier) dont le STI était responsable. Afin de permettre l'appropriation de la méthode et de ses résultats par les ingénieurs et techniciens en charge des études et du chantier, nous l'avons élaborée conjointement dans le cadre de nombreuses réunions de travail avec les agents du STI.

Figure 22. Vue du chantier de déboisement et terrassement pour la mise à 2*2 voies de la RN7 – RN 82 à Vendranges (crédit photo DDE 42)

Les aspects et impacts environnementaux ont été hiérarchisés, grâce à des critères spécifiques, afin d'identifier les impacts environnementaux significatifs. Chaque aspect environnemental était associé à un impact potentiel et à 3 critères : la sensibilité du milieu, l'importance de l'impact et la fréquence d'apparition de l'impact.

La méthode suivante a ainsi été mise en place (Service Transports et Infrastructures de la DDE 42 2004)

Dans la grille d'analyse environnementale, chaque couple aspect / impact environnemental était noté.

Pour être discriminante, la hiérarchisation entre les différents impacts environnementaux était établie sur la base d'une note globale, issue de la multiplication des résultats des évaluations des 3 critères :

- **Sensibilité du milieu** (S): Il s'agit d'évaluer la sensibilité du milieu pour la thématique environnementale concernée par l'impact potentiel (eau, air, bruit, faune terrestre, habitations humaines…). La sensibilité dépendait de l'exposition aux impacts issus des activités des travaux et à la possible altération du site dans lesquels le projet est implanté. Ce critère faisait référence aux conclusions des études environnementales préalables.

- **L'importance de l'impact** (I) qui prenait en compte la gravité de l'impact, les volumes concernés (par exemple, les consommations de matière, les flux : quantités de polluants rejetés dans l'environnement), la nature du rejet (toxique ou non). L'importance de l'impact potentiel d'une activité dépendait de la vulnérabilité du milieu concerné par le projet.

- Le troisième critère variait selon le stade d'avancement de l'opération

➔ Au niveau de la phase « *études de projet* », est prise en compte :

- la **fréquence d'apparition** de l'impact (F) qui définissait le risque de rencontrer souvent l'impact, en fonction de l'activité considérée. La fréquence d'apparition avait un barème de note moins élevé que la sensibilité du milieu et l'importance de l'impact car la DDE 42 estimait qu'il s'agissait d'un critère moins influent pour caractériser l'impact. Ce critère prenait en compte la persistance des effets dans l'environnement, leur durée (limitée dans le temps ou non, exceptionnelle), le risque d'apparition de l'impact, la nature de l'occurrence (ponctuelle, occasionnelle ou continue).

➔ Au niveau de la phase « *suivi de chantier* », était prise en compte :

- la **maîtrise de l'impact** qui définissait si l'impact mis en évidence faisait déjà l'objet d'actions ou de mesures compensatoires qui permettaient de le maîtriser au mieux. Il permettait de suivre le progrès de la DDE 42 puisque la note diminuait si une action était mise en place.

Tableau 7. Tableau de critères et notes mis en place pour le Service Transports et Infrastructures de la DDE 42 (Service Transports et Infrastructures de la DDE 42 2004)

CRITERES	NOTES	DEFINITIONS
Sensibilité du milieu (S)	1	Milieu peu sensible/fragile ou environnement peu exposé aux impacts et Secteur concerné limité à l'emprise du projet
	10	Milieu moyennement sensible ou Secteur concerné : l'emprise et les abords du projet
	100	Protection réglementaire formelle ou Sensibilité forte ou inconnue et / ou Secteur concerné : vaste territoire qui dépasse le site et ses environs
Importance de l'impact (I)	1	Impact négligeable (Rejet, consommation) Importance faible
	10	Impact réversible ; Rejet biodégradable, non toxique ; Consommation acceptable, inévitable
	100	Impact irréversible : Destruction ; Rejet de polluant toxique, persistant dans le milieu ; Consommation importante ou **impact inconnu**
Fréquence d'apparition de l'impact (F) **(En phase études de projet)**	1	Ponctuel sur une année, localisé dans le temps et l'espace Impact lié à un dysfonctionnement ou à un accident, Fréquence exceptionnelle
	5	Occasionnel Limité dans le temps (saison ou durée des travaux)
	10	Continu, journalier Non limité dans le temps
Maîtrise de l'impact(en phase de lancement des travaux)	1	Impact maîtrisé, existence d'une procédure documentée
	10	Maîtrise partielle : action ponctuelle, pas forcément pérenne ou non documentée
	100	Aucune maîtrise, pas d'action de contrôle de l'impact

Figure 23. Bassin de rétention provisoire mis en place, dans le cadre de la démarche de management environnemental, sur le chantier de la mise à 2*2 voies de la RN7 – RN 82 à Vendranges

Ce programme de recherche a donné lieu à deux rapports d'études ((Gentils, Gondran 2003) et (Gondran 2004)), à l'encadrement de cinq stages étudiants, dont deux stages de master recherche, à diverses communications sur le site internet consacré à l'opération et au sein des services du Ministère de l'Equipement ainsi qu'à une publication dans une revue à comité de lecture (Gondran, Fontaine 2006). Cette dernière publication visait à prendre du recul sur cette expérience d'application des méthodes de management environnemental, au cas particulier du suivi de la maîtrise d'œuvre d'un chantier routier par un service déconcentré de l'Etat. Ce projet a également débouché sur un partenariat entre les services de l'Etat et le LCPC (laboratoire d'Agnès Jullien) qui a ainsi pu collecter de nombreuses données environnementales de terrain qui lui ont par la suite servies dans le cadre de la conception de son outil ECORCE (ECO-comparateur Routes Construction Entretien).

Tableau 8. Projets menés avec la DDE 42 de 2003 à 2008[11]

Intitulé du projet de recherche	Partenaires du projet	Mémoires de stage	Période du projet	Montant financier du projet (HT)
Etude de la faisabilité d'un système de management environnemental pour la RN 7 – RN 82 - Mise à 2x2 voies dans le département de la Loire.	DDE 42 / Service Transport et Infrastructures	Stage 2A (Aurélien Gentils)	2003	12000 €
Mise en place d'un système de management environnemental sur des chantiers routiers (convention cadre)	DDE 42 / Service Transport et Infrastructures		2004 - 2006	20 400 €
Mise en place d'un système de management environnemental sur des chantiers routiers	DDE 42 / Service Transport et Infrastructures	Master recherche (Leveillard 2004)	2004	9800 €
Mise en place d'un système de management environnemental sur des chantiers routiers	DDE 42 / Service Transport et Infrastructures	Stage élève ENTPE (Jérome Vahé)	2004	2550 €
Mise en place d'un système de management environnemental sur des chantiers routiers (phase études)	DDE 42 / Service Transport et Infrastructures	Master recherche (Cikankowitz 2005)	2005	5890 €
Mise en place d'un système de management environnemental sur des chantiers routiers (système documentaire)	DDE 42 / Service Transport et Infrastructures	Stage 2A (Sandra Tardy)	2005	4912 €
Mise en place d'un système de management environnemental sur des chantiers routiers (convention cadre)	DDE 42 / Direction Interrégionale des routes	Stage 2A (Audrey Roques)	2006 - 2008	20 400 €

[11] Nous avons choisi de préciser, tout au long de ce mémoire, les montants financiers reçus par notre centre de recherche pour la réalisation des projets de recherche évoqués afin de donner une indication sur l'implication du partenaire dans le projet. Ce montant n'est pas forcément représentatif de l'investissement en termes de recherche car certains projets, prospectifs, peuvent faire l'objet de montants financiers plus faibles, mais représenter un investissement intellectuel important.

Le système de management environnemental (SME) ainsi mis en place a été certifié pour la première fois en juillet 2006. Notre partenariat avec les services de l'Etat s'est arrêté avec la réorganisation des services routiers de l'Etat mise en place à l'automne 2006. Les compétences des DDE ont alors été affectées aux DIR (Direction Interrégionales des Routes), pour la maîtrise d'œuvre, et à la DREAL (Direction régionale de l'Environnement, l'Aménagement et le Logement), pour la maîtrise d'ouvrage. Il nous a, à ce moment là, semblé que le développement méthodologique était finalisé. Les méthodes que nous avions mises en place ont été perpétuée au sein des services de l'Etat qui ont conservé leur certification ISO 14001 pour la déviation de la Pacaudière et Changy (RN7 - Loire) (phase travaux, mise en service : été 2010) et la mise à 2x2 voies de la section Neulise-Balbigny (RN7/RN82 - Loire) (phases projet et travaux)[12], et l'ont même étendue par la suite à d'autres chantiers.

Une des perspectives de recherche de ces travaux aurait pu être d'analyser la sensibilité des résultats, en termes de priorisation des différents aspects environnementaux, selon les différents choix méthodologiques réalisés (échelles de cotation, pondération des critères, par exemple).

3.2.5 Les outils d'évaluation qualitative à base d'indicateurs

Ma thèse a été parmi les premiers travaux de recherche, en France, à porter sur la prise en compte de l'environnement par les PME (Berger-Douce 2008). Ces travaux reposaient sur l'hypothèse que le postulat de rationalité parfaite ne peut s'appliquer au cas de la prise en compte de l'environnement par les PME / PMI et que l'accès à l'information environnementale est une condition nécessaire, bien que non suffisante, à sa maîtrise des impacts environnementaux. Nous avons ainsi proposé une démarche, validée auprès de 47 PME / PMI, permettant d'évaluer le comportement environnemental d'une PME à partir de son niveau d'accès à l'information environnementale. Notre enquête montre que le canal d'information privilégié des PME / PMI est le contact direct avec différentes organisations et que plus une entreprise est ouverte sur ses partenaires, mieux elle intègre l'environnement (Gondran 2001).

Suite à ces travaux, Christian Brodhag, directeur de recherche de ma thèse et des premières thèses que j'ai ensuite co-encadrées [(Boutaud, 2005), (Lourdel, 2005), (Delchet, 2006), (Ponrouch, 2008)] s'est impliqué dans la rédaction puis le montage de projets visant à l'expérimentation du référentiel AFNOR SD 21000 et de son guide d'accompagnement pour l'évaluation des performances (AFNOR 2003). Ces travaux ont été menés dans les années 2000 à 2010, période d'appropriation compétitive de la notion de développement durable, et des premières réflexions académiques sur le thème de l'évaluation du développement durable. Christian Brodhag était un fervent défenseur, en France, de la notion de

---

[12] Voir http://www.rhone-alpes.developpement-durable.gouv.fr/le-systeme-de-management-r164.html

développement durable, et un des pionniers de la recherche sur ce sujet. Celui-ci ayant été nommé délégué interministériel au développement durable en juin 2004, sa disponibilité pour les activités de recherche en a été réduite, j'ai donc effectué une part importante des encadrements des thèses que nous avions lancées en commun, ainsi que pris sa relève pour les différents projets contractuels de recherche, décrits dans ce paragraphe, qu'il avait initiés.

3.2.5.1 Les outils à destination de PME / PMI

Les projets ciblés autour des PME / PMI ont été effectués, suite à ma thèse sur le même objet, parallèlement aux travaux de thèse de K. Delchet (2005 – 2008). Ils ont contribué à créer une méthodologie de diagnostic et d'accompagnement de la mise en place de la responsabilité sociétale dans les entreprises, basée sur le guide SD21000, puis à l'expérimenter dans 78 PME française, dont 9 PME que nous avons particulièrement suivies en Rhône-Alpes. Il s'agissait d'un des premiers projets de cette ampleur sur le sujet en France. Du fait de la participation de Christian Brodhag au groupe de travail ayant élaboré l'ISO 26000, ce travail a ensuite été utilisé par l'ISO dans le cadre de l'élaboration de l'ISO 26000. Ils ont donné lieu à deux publications ((Brodhag, Gondran & Delchet 2004) et (Delchet, Gondran & Brodhag 2008)) dans des revues internationales à comité de lecture ainsi qu'au rapport d'études (Gondran 2006b). Plutôt qu'une véritable évaluation visant à mesurer et quantifier un quelconque "niveau de soutenabilité" des entreprises étudiées, les méthodes proposées dans le cadre de ces travaux avaient pour objectif de sensibiliser les chefs d'entreprise (et, plus largement, les participants aux groupes de travail généralement mis en place dans ce cadre) aux différents enjeux à prendre en compte dans le cadre d'une démarche globale de développement durable.

La démarche proposée consistait à passer en revue, dans le cadre d'un groupe de travail interne à l'entreprise, animé par un intervenant extérieur, 32 enjeux présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 9. Liste des enjeux étudiés pour l'expérimentation « SD21000 » en Rhône-Alpes

Gouvernance et pratiques managériales	1- engagement de la direction 2- stratégie, politique et objectifs 3- système de management 4- organisation et responsabilités 5- participation, implication et motivation du personnel_1 6- participation, implication et motivation du personnel_2 7- mesure de la performance 8- veille réglementaire 9- relations avec les sous-traitants, fournisseurs et politique d'achat 10- produits, écosocioconception 11- communication interne 12- communication externe
Responsabilité sociale	13- travail : conditions générales et ambiance 14- équité 15- emploi, compétences, formation 16- hygiène, santé, sécurité 17- gestion et prévention des risques 18- intégration territoriale de l'entreprise 19- transport des salariés 20- gestion des retombées (externalités) économiques, environnementales et sociales
Responsabilité environnementale	21- l'eau : consommation et pollution 22- l'énergie : consommation 23- l'air : pollution et gaz à effet de serre 24- les déchets 25- la biodiversité 26- bruits et odeurs : pollutions internes et externes 27- transport et logistique 28- stockage
Autres facteurs	29- acceptation de nouveaux principes 30- ouverture globale sur l'extérieur 31- identification des parties intéressées 32- liens entre les attentes des parties intéressées et la politique de l'entreprise

Pour chacun de ces enjeux, des questions posées par l'intervenant extérieur permettaient de lancer un débat entre les membres du groupe de travail afin (Gondran, Berard 2006) :

- d'identifier les pratiques de l'entreprise sur le thème en question,
- d'évaluer, à partir de grilles recensant les bonnes pratiques possibles sur le thème, le niveau de bonnes pratiques de l'entreprise sur une échelle de 0 (prise de conscience de la question, mais aucune action) à 4 (entreprise reconnue comme exemplaire sur le sujet), (voir un exemple dans l'encart ci-après),
- d'identifier les parties intéressées concernées par le thème en question, parmi l'ensemble des acteurs susceptibles d'être concernés par les impacts économiques, environnementaux et sociaux de l'entreprise,
- d'attribuer une note d'importance (de 0 – enjeu peu conséquent à 4 – la non maîtrise de l'enjeu peut mettre en péril l'entreprise dans son existence).

Exemple de questionnement et d'évaluation des bonnes pratiques pour les consommations d'énergie

- ✓ Existe-t-il un suivi des consommations énergétiques dans l'entreprise ?
- ✓ Comment est gérée cette consommation ?
- ✓ A quelles sources d'énergie l'entreprise a t-elle recours ?

0	1	2	3	4
• Aucune gestion de la consommation énergétique • Aucune ou peu de connaissances des énergies consommées	• Bilan détaillé des consommations et évaluation de la répartition des coûts	• Optimisation des consommations et suivi formalisé • Actions de sensibilisation à la maîtrise et l'économie d'énergie.	• Diminution d'un facteur 4 de la consommation énergétique • Utilisation de sources d'énergies provenant de la production (déchets, récupération de chaleur…) et d'énergies renouvelables	• Diminution d'un facteur 10 de la consommation énergétique • Utilisation exclusive de sources d'énergies renouvelables

L'objectif final de l'analyse était de hiérarchiser les différents enjeux afin d'identifier ceux à prendre en compte par l'entreprise. La méthode expérimentée consistait à classer les différents enjeux abordés en 4 niveaux de priorité, en croisant les notes de performance et d'importance de chaque enjeu tel que schématisé sur la Figure 24.

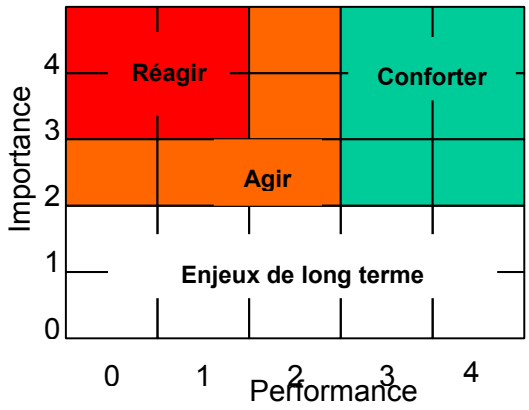


Figure 24. Croisement importance / performance pour évaluer les niveaux de priorités des différents enjeux

Avant de classer les différents enjeux selon leur niveau de priorité, les niveaux de performance et d'importance de chaque enjeu étaient validés par le groupe de travail, à l'occasion d'une séance de travail, quelques mois après l'autodiagnostic, qui consistait à comparer les importances accordées de façon intuitive par le groupe de travail à la somme des importances accordées à chaque partie intéressée, concernée par l'enjeu en question.

Dans la dynamique de ces projets sur le SD 21000, un partenariat a également été mis en place entre le centre SITE et l'entreprise CEMEX, qui produit et commercialise des granulats et des bétons prêts à l'emploi sur 330 sites de production répartis sur une grande partie du territoire français. Dans le cadre de sa politique environnementale, CEMEX souhaitait engager une réflexion sur le développement durable afin de mettre en cohérence ses enjeux nationaux et les enjeux de terrain ainsi qu'identifier les bonnes pratiques mises en place au

sein de ses différents sites. Une des problématiques du groupe était, à ce moment-là, ses difficultés à faire accepter, par les riverains et l'administration, l'ouverture de nouveaux sites d'exploitation des granulats. L'objectif du projet, qui a été réalisé par Djamel Mimoun pour le centre SITE, était d'élaborer un outil d'aide à l'évaluation de la performance et au management d'un site (carrière et centrale à béton) dans une optique de développement durable en cohérence avec la politique nationale du groupe.

Tableau 10. Synthèse des projets entrepris dans le cadre de l'évaluation de la responsabilité sociétale des PME / PMI

Projet	Années	Partenaires	Mémoire de master recherche ou thèse	Montant financier du projet
Expérimentations du guide de bonnes pratiques SD 21000 en France	2004 - 2006	AFNOR	(Delchet 2006)	10 000 €
Expérimentations du guide de bonnes pratiques SD 21000 en Rhône-Alpes	2004 - 2006	CAP-AFNOR	(Duchemin 2005)	30 000 €
21 pour durer	2006	ARACQ, CCI de St-Etienne Montbrison, CIRIDD		3 000€

Ces expérimentations ont montré que l'intérêt du guide SD 21000, au regard des enjeux de long terme, apparaît conditionné par la vision du dirigeant. S'il a déjà une réflexion préalable sur les enjeux environnementaux et sociaux, et s'il sait s'appuyer, en interne, sur des collaborateurs moteurs sur les questions environnementales et sociales afin de relayer et soutenir les actions à mettre en place, l'entreprise ne découvre pas les enjeux environnementaux et sociaux au cours de son avancée dans la démarche SD 21000. La démarche SD 21000 peut toutefois permettre à l'équipe dirigeante de mettre en cohérence ses différentes actions et formaliser sa stratégie afin de mieux prendre en compte les enjeux de long terme (Gondran, Berard 2006).

Figure 25. Siège de INDDIGO (Chambéry), une des entreprises les plus engagées dans le cadre de l'expérimentation SD 21000 (crédit photo : INDDIGO)

En l'absence d'une telle conscience et sensibilité au sein de l'équipe dirigeante, et si la stratégie de l'entreprise est uniquement orientée vers la rentabilité économique de court terme, la démarche de questionnement et d'autodiagnostic proposée par le guide SD 21000 permet certes de sensibiliser l'équipe impliquée dans le projet aux enjeux environnementaux et sociaux qui sont abordés dans la grille de questionnement. Cependant, ce questionnement en interne s'est avéré insuffisant pour réorienter réellement la vision et la stratégie de l'entreprise (Gondran, Berard 2006). Au mieux, l'engagement dans la démarche a pu permettre de mettre en évidence certains paradoxes qui ne manquent pas de se poser lorsque l'on confronte enjeux de long terme et exigences liées à la rentabilité de court terme. Par exemple, une entreprise dont l'activité reposait sur l'importation de produits, semblait difficilement pouvoir mettre en place des actions de réduction de la consommation de ressources fossiles et d'émissions de gaz à effet de serre. D'autant plus que le contexte fiscal et économique la conduisait à privilégier les transports routiers, voire aériens, de ses produits, modes les plus impactant vis-à-vis des émissions de gaz à effet de serre. Il n'est sûrement pas inutile, dans une perspective de long terme, que l'entreprise s'interroge sur ces paradoxes. Cependant, dans de nombreux cas, ces questions, de long terme, paraissaient bien loin des préoccupations quotidiennes des entreprises et une approche managériale semblait insuffisante, voire impuissante, pour y apporter des réponses concrètes. D'autant plus que les véritables réponses aux questions soulevées ne dépendent, bien souvent, pas seulement de l'entreprise elle-même, surtout s'il s'agit d'une PME, mais de l'ensemble des acteurs de sa filière (fournisseurs, concurrents et clients) ainsi que des acteurs du territoire, de l'échelon local au niveau plus global (Gondran, Berard 2006).

Dans cette optique, il nous semblait intéressant de mener des réflexions, parallèlement aux travaux sur les entreprises, quant à la question de l'évaluation pour les territoires.

3.2.5.2 L'évaluation à base d'indicateurs pour les collectivités territoriales

Comme nous l'avons évoqué précédemment, les travaux que nous avons menés sur la question de l'évaluation pour le développement durable ont été, en France, parmi les premiers travaux développés sur ce thème, aujourd'hui très débattu. Les premiers travaux de recherche ouvraient donc le champ des réflexions sur un questionnement et sur la définition de la notion d'évaluation du développement durable [(Boutaud, 2005), (Lourdel, 2005)]. Entre autres, ces travaux ont ainsi montré que l'évaluation est partie intrinsèque du processus d'appropriation par les acteurs de la notion de développement durable.

En particulier, les travaux d'A. Boutaud, basés sur un corpus théorique solide tant sur le domaine du développement durable que sur celui de l'évaluation multicritère, ont identifié et analysé une quarantaine d'outils d'évaluation alors mis en place par les collectivités locales. A. Boutaud a ainsi défini ce qu'il appelait Outils de Questionnement et d'Analyse vis-à-vis des critères du Développement durable (OQADD), comme « *un dispositif :*

- *dont la finalité consiste à évaluer, à analyser ou plus simplement à questionner des politiques ou des projets par rapport aux exigences du développement durable*

- *et dont la forme est le plus souvent celle d'une grille de critères, organisés et hiérarchisés en arborescence, et formulés sous forme de questions dont les résultats peuvent être (mais ne sont pas nécessairement) agrégés et pondérés entre eux.* » (Boutaud 2005)

Si ces outils ont permis aux collectivités locales, et en particulier à leurs services techniques généralement porteurs de leur mise en place, une certaine appropriation du développement durable, A. Boutaud a montré leur absence de *légitimité démocratique* ainsi qu'un certain manque de *légitimité scientifique et technique*. Au final, « *les OQADD, au-delà de certaines vertus indéniables, ne permettent pas vraiment d'inverser les tendances lourdes du développement, se contentant bien souvent de simples rafistolages* » (Boutaud 2005)

L'étude de la pertinence et des conditions d'adaptation d'une démarche, telle que celle proposée dans le cadre de l'expérimentation du guide SD 21000, à la gouvernance des collectivités locales, a fait l'objet de la thèse d'Adrien Ponrouch (Ponrouch 2008). Dans ce contexte, plusieurs projets ont porté sur des territoires industrialisés tels que des zones d'activité.

Ces deux projets s'appliquaient au même objet territorial : la zone d'activités de Molina La Chazotte. Le premier, en partenariat avec des économistes de l'Université Jean Monnet (Jean-Noël Thomas et Khaled Bouabdallah, ERT Ingénierie territoriale) était une étude réalisée pour Saint-Etienne Métropole dans le cadre de son Agenda 21. Il visait à concevoir une méthodologie d'analyses en termes de développement durable d'une zone d'activités basée sur le guide SD 21000, destiné aux entreprises, puis à l'expérimenter sur une zone d'activités réelle. Le second projet, en partenariat avec des géographes de l'Université Jean Monnet (Georges Gay), était une réflexion plus académique dans le cadre d'un programme de recherche national MEDD / PUCA sur le thème des inégalités écologiques. Ces projets ont abouti à la réalisation des deux rapports suivants (Bessenay et al., 2007) et (Gondran, 2006).

La zone d'activités de Molina-La-Chazotte est située au nord-est de l'agglomération stéphanoise, adossée à l'A72. Il s'agissait alors de la plus importante ZA du département en termes de surface couverte. Mais le choix de ce terrain d'étude est surtout lié à l'héritage historique de cette zone, conçue dans un double objectif de créer de l'activité et de nouveaux emplois, suite à la fermeture des mines de charbon de la Chazotte, mais également de donner une nouvelle vocation à des friches industrielles difficiles à requalifier, marquées en surface par les crassiers abandonnés par les mines et fragilisées par un sous-sol rendu instable par les galeries d'exploitation (Schneider 2005).

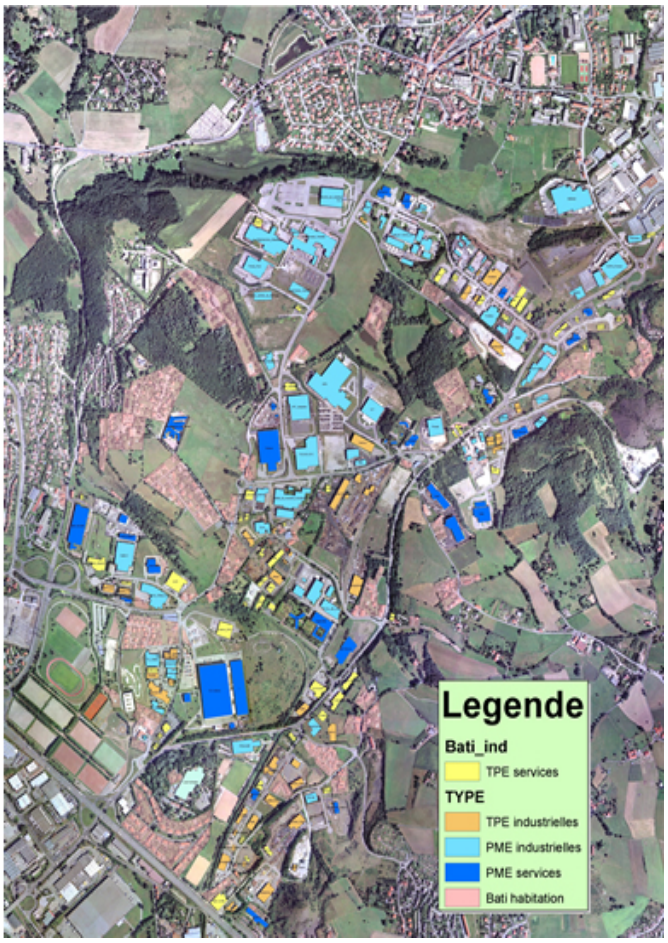


Figure 26. Vue aérienne de la zone d'activités de Molina la Chazotte où cohabitent PME industrielles et de services, très petites entreprises (TPE) et habitations (Schneider 2005)

Ce territoire est ainsi marqué par la cohabitation, parfois difficile, entre activités industrielles, résidentielles et agricoles.

Figure 27. Vue de la zone d'activités de Molina la Chazotte (en 2005) (crédit photo : F. Paran)

Dans le cadre de l'expérimentation SD 21000 au sein des PME/PMI, nous nous étions "contentés" (tout en étant parfaitement conscients des limites de cette approche choisie par souci d'opérationnalité) de diagnostics effectués en interne, sans consultation des parties prenantes. Dans le cadre d'une expérimentation avec des **acteurs territoriaux,** ce choix méthodologique n'était pas possible. En effet, la prise en compte du point de vue des acteurs du territoire est essentielle car chaque acteur territorial peut difficilement accéder lui-même aux représentations des différents acteurs du territoire du fait des asymétries d'information et des relations de pouvoirs entre les différents acteurs. Nous avons donc postulé qu'une démarche de diagnostic "développement durable" d'un territoire tel qu'une zone d'activités devait passer par des entretiens avec les principaux acteurs du territoire concerné.

Dans le cadre du projet sur la zone d'activités de Molina la Chazotte, deux approches complémentaires ont été menées par les partenaires :

- Une évaluation procédurale, conduite par l'ERT-IT (Economistes de l'Université Jean Monnet de Saint-Etienne, Jean-Noël Thomas et Khaled Bouabdallah), examinant les différents processus qui se sont déroulés tout au long du projet de réflexion sur le Réaménagement de la zone de Molina la Chazotte dans le respect des principes du développement durable. Cette évaluation a été réalisée sous la forme de « focus groupes » impliquant les entreprises.
- une évaluation plus substantive, conduite par l'EMSE et le CIRIDD, était basée sur la description de la situation de la gestion de la zone d'activités de Molina la Chazotte par Saint-Etienne Métropole, à travers des enquêtes auprès des acteurs institutionnels de la zone et de ses riverains.

Afin de mener ces entretiens, nous avons utilisé la méthode d'audit patrimonial (OLLAGNON, de MONTBEL & VIEL 1998) que nous utilisons régulièrement en l'adaptant aux différentes situations étudiées.

A travers ce projet conçu pour la communauté d'agglomération de Saint-Étienne Métropole, nous avons pu observer les difficultés d'articulation entre deux logiques ayant évolué jusqu'alors de manière indépendante (Schneider 2005) :

- celle de l'aménagement territorial, porté par les collectivités locales
- la logique économique portée par les entreprises, munies de leur appréhension du développement durable

La collectivité locale ne s'est pas vraiment emparée de la démarche proposée par le guide SD 21000 : elle n'a pas pris l'initiative de filtrer ses programmes d'actions à travers la grille d'analyse proposée, pour les faire évoluer vers un état offrant de meilleures garanties du point de vue du développement durable (Schneider 2005).

Cependant, ces deux projets ont amené différents acteurs (industriels, services techniques, élus, riverains) à "se parler" et mieux se connaître, suscitant ainsi une dynamique qui nous a

échappée par la suite. Ainsi, suite à ces projets, les industriels de la zone d'activités ont créé une première association (REZAMES, Réseau des Entreprises de la Zone de Molina et de l'Est Stéphanois) qui est ensuite venue s'associer à TECHNOPOLE 42 (réseau des entreprises du Technopole)[13]. Cette association a pour objet « *l'animation des entreprises autour de projets à enjeux innovants et d'actions partagées, pour agir en faveur de l'attractivité de son territoire, faciliter la mise en réseau et les échanges entre les entreprises dans le respect de leur responsabilité sociétale* » (ESTER, l'Est STéphanois En Réseau 2013). Son projet associatif se décline en 5 axes : « *l'attractivité du territoire, le bien-être dans l'entreprise et son environnement, le rapprochement écoles-entreprises, la mise en réseau et l'accès aux savoir-faire du territoire* » (ESTER, l'Est STéphanois En Réseau 2013). Si les enjeux de long terme n'apparaissent pas comme objectif prioritaire de ce projet, il est à noter que certaines de ses actions, telles que la mise en place d'un plan Déplacements Inter Etablissements et d'une station d'auto-partage peuvent y contribuer.

Tableau 11. Synthèse des projets entrepris dans le cadre de l'évaluation d'une zone d'activités, dans une perspective de développement durable

Projet	Années	Partenaires	Mémoire de master recherche ou thèse	Montant Financier du projet
Etude sur l'aménagement et la gestion de la zone d'activités de Molina La Chazotte dans une perspective de développement durable	2005	Mission réalisée pour Saint-Etienne Métropole, partenariat avec le CIRIDD et l'ERT de l'Université Jean Monnet de Saint-Etienne	(Schneider 2005)	14 300 €
Projet Marges urbaines	2006	Programme sur les inégalités écologiques, MEDD / PUCA		25 000 €

Dans la continuité de ces travaux sur la prise en compte du développement durable par les acteurs territoriaux, M. Marsauche a réalisé sa thèse au sein de l'agence d'urbanisme de Saint-Etienne (EPURES) et du centre SITE, de 2006 à 2009. L'objectif de sa thèse était d'identifier les facteurs d'intégration de l'information environnementale dans les décisions urbaines. Plus particulièrement, son travail a consisté à proposer un tableau de bord environnemental d'aide à la décision dans le cadre des SCOT (Schéma de COhérence Territoriale). Ces travaux ont permis de mettre en évidence 3 points de vigilance (Marsauche 2009):

[13] Source : « *Bienvenue sur le site d'ESTER, l'Est STéphanois En Réseau* ! » http://www.technopole42.com/index.htm

- La mise en place d'un outil tel qu'un tableau de bord environnemental au sein des décisions urbaines nécessite une *innovation organisationnelle* qui implique que les différents acteurs porteurs des enjeux confrontent leurs visions du territoire. Deux types de nouvelles connaissances doivent ainsi être intégrés dans la décision : les connaissances issues des acteurs porteurs d'enjeux et les connaissances issues de l'action des acteurs porteurs des décisions. Ainsi, une enquête menée auprès de 9 personnes chargées de mettre en place des SCOT a montré que « *le traitement des enjeux environnementaux ne provient le plus souvent pas d'un processus « rationnel » de hiérarchisation des enjeux de territoire, mais de l'existence d'acteurs et d'informations sur le territoire* » (Marsauche 2009).
- Le second verrou est la *réduction des incertitudes* pour les thèmes identifiés comme des enjeux importants pour le territoire. Du fait de la complexité du système informationnel lié à l'environnement, une hiérarchisation des besoins en termes d'informations semble nécessaire. La mobilisation de deux socles de connaissance distincts est proposée par (Marsauche 2009). Le premier, dressant une image globale des enjeux du territoire à partir de données immédiatement disponibles, peut être mobilisé comme support à la hiérarchisation des enjeux environnementaux. Le second concerne les données localisées, produites par les acteurs du territoire.
- Le dernier point clé suscité par la mise en place et l'utilisation d'un tableau de bord environnemental concerne *l'évaluation du processus décisionnel.* Deux aspects apparaissent centraux en vue de cette évaluation : la mobilisation des acteurs sur les enjeux identifiés sur le territoire, et la cohérence entre les projets du SCOT et les enjeux environnementaux mis en évidence (Marsauche 2009).

Nous n'avons pas encadré les travaux de thèse de M. Marsauche, mais nous nous permettons de les citer car ils rejoignent nos hypothèses directrices de recherche en mettant en évidence le fait que « *les politiques environnementales, élaborées dans le cadre des documents d'urbanisme, sont soumises à la bonne appropriation des enjeux par les acteurs* » (Marsauche 2009).

Ainsi, ces différents travaux ont tous été soumis aux mêmes difficultés d'appropriation par les acteurs territoriaux auxquels ils étaient initialement destinés. Il est intéressant de constater que l'appropriation des démarches proposées n'est pas forcément celle que nous avions envisagée initialement. Ainsi, par exemple, les travaux menés autour de la zone de Molina la Chazotte ont finalement créé une dynamique plus forte parmi les entreprises que parmi les acteurs publics territoriaux qui ne se sont pas vraiment appropriés ni la démarche d'évaluation ni ses conclusions. Ces travaux soulèvent ainsi des questionnements concernant la pertinence d'un accompagnement visant à faciliter l'appropriation des outils d'évaluation proposés par leurs utilisateurs potentiels si l'on veut s'assurer qu'ils soient utilisés dans les processus de décision par la suite. Il nous semble que l'intervention de spécialistes de sciences humaines, en complémentarité à nos travaux, pourraient nous permettre d'aller plus loin dans cette voie.

3.2.6 Un focus spécifique sur les questions énergétiques

Parmi les différents enjeux liés à la soutenabilité, un thème attire plus particulièrement mon attention : l'énergie. Ce thème est lié à ma formation initiale d'ingénieur en génie énergétique et il m'intéresse particulièrement à titre personnel. Mais il apparaît surtout comme une clé d'entrée centrale aux transitions écologiques. C'est en effet un domaine qui présente des enjeux forts tant en termes économiques, politiques, qu'environnementaux. Les systèmes énergétiques classiques dans lesquels sont actuellement installées nos sociétés présentent en effet plusieurs limites :

- Le poids dominant des énergies fossiles dans les bilans énergétiques des différents pays du Monde en font les sources principales de l'accroissement des émissions de gaz à effet de serre.
- Ces ressources ne sont pas pérennes, même si l'exploitation actuelle de formes non conventionnelles (gaz de schistes, par exemple) donne une illusion contraire en repoussant provisoirement l'échéance des différents pics d'extraction et consommation de ces ressources (Mosseri, Jeandel 2013).
- La production d'électricité d'origine nucléaire ne nous semble pas être une alternative durable aux énergies fossiles du fait des risques qu'elle génère. En effet, les réactions de fission et la réaction en chaîne dans les combustibles des réacteurs nucléaires engendrent des produits radioactifs dangereux, ce qui suscite deux types de risques : l'accident grave, voire majeur, dans les installations nucléaires (centrales ou usines du combustible) et les pollutions, notamment à long terme, engendrées par les flux de matières et les déchets radioactifs (Global Chance 2013).

Dans une perspective de durabilité sociale et écologique, nous rejoignons B. Dessus lorsqu'il souligne que « *l'enjeu est à la fois de permettre à tous les pays d'accéder à un niveau de développement équivalent à celui des sociétés industrialisées, de restreindre au mieux nos ponctions de ressources fossiles d'énergie (pétrole, gaz, charbon) et de diviser par deux les émissions mondiales de dioxyde de carbone (CO2) avant 2050, le tout sans faire de paris technologiques ni prendre des risques environnementaux inconsidérés* » (Dessus 2012).

Nos travaux de recherche s'inscrivent dans ce domaine dans la vision proposée, au niveau international, par E.U. Von Weizacker et A. et H.Lovins (Von Weizacker, Lovins & Lovins 1997) et, promue, en France, en particulier, par les associations Global Chance et Negawatt (Salomon, Jedliczka & Marignac 2012). Cette vision vise à accorder autant d'importance à la maîtrise de la demande d'énergie qu'à celle de l'offre d'énergie. Il s'agit ainsi de reconnaître que l'objectif des systèmes énergétiques est « *de mettre à la disposition d'une société donnée les services requérant de l'énergie, nécessaires aux besoins de l'ensemble de ses membres : alimentation, logement, éducation, santé, culture, mobilité, etc.* » (Dessus 2012). La question énergétique ne doit ainsi pas se résoudre à la définition des différents moyens de production d'énergie. Il s'agit au contraire d'interroger ces besoins dans la perspective de les limiter. Cette approche permet de répondre aux différentes contraintes (ressources, effet de serre, pollutions de l'air, risques d'accidents, déchets) qui se posent aux systèmes énergétiques actuels. Elle s'avère également « *souvent bien plus rentable économiquement pour la collectivité et les individus, plus juste socialement et plus sensée sur le plan de la protection de l'environnement* » (Dessus 2012).

Les premiers travaux de recherche que j'ai menés sur ce sujet remontent à 2006. Dans un premier temps, l'encadrement de stages et mémoires de master recherche ont permis d'aborder plus précisément la problématique des économies d'énergie dans le bâtiment, sujet alors émergent ((Cazenave 2006), (Serrano 2006), (Dabee 2007), (David 2008)). Ces réflexions ont pu ensuite être approfondies dans le cadre de la thèse de J. Villot (Villot 2012).

La thèse de J. Villot visait à étudier la mise en place du « *facteur 4* » dans le cadre de la rénovation de bâtiments, en France. L'idée initiale, à la base de la notion de facteur 4, proposée par (Von Weizacker, Lovins & Lovins 1997) est d'obtenir deux fois plus de bien-être en consommant deux fois moins de ressources grâce à l'amélioration de l'efficience des modes de production. Cette notion de « facteur 4 » s'est ensuite modifiée pour être appropriée par de nombreux acteurs comme l'objectif de division par 4 des émissions moyennes de gaz à effet de serre, par habitant, pour les pays développés tels que la France. Le secteur du bâtiment a fait l'objet d'un engouement pour l'efficacité énergétique plus important que d'autres secteurs de par son gisement d'économies d'énergie et la maturité de ses acteurs. La thèse de J. Villot a montré que le facteur 4 peut se définir comme un objectif fractal, faisant référence selon l'échelle étudiée à deux objectifs différents mais reliés : le facteur 4 climatique (à l'échelle nationale) et le facteur 4 énergétique, défini comme la réduction d'un facteur 4 des consommations énergétiques moyennes d'un bâtiment. Malgré l'engouement incontestable du secteur pour l'efficacité énergétique, la transposition pratique d'objectifs d'améliorations théoriques se heurte à la complexité du système et des jeux d'acteurs. Cette complexité est due à la diversité du bâti mais aussi, et surtout, aux nombreux acteurs qu'il est nécessaire de mobiliser pour un véritable changement des pratiques aux différentes phases du bâtiment. Dans ce contexte, l'objectif de cette thèse était d'identifier les freins et leviers d'action rencontrés par les acteurs pour atteindre le facteur 4 dans le bâtiment ?

Figure 28. La Tour Borie, à Saint-Etienne, qui a servi de terrain d'expérimentation à la thèse de J. Villot (crédit photo : Cité Nouvelle)

Le département de la Loire a été choisi comme terrain d'étude pour une vingtaine d'entretiens en face à face avec des professionnels du bâtiment. La transposition des enseignements à l'ensemble de la France s'est effectuée grâce à un questionnaire semi-directif

auquel ont répondu plus de 200 acteurs professionnels français du bâtiment. Ces enquêtes qualitatives et quantitatives ont permis d'identifier et classer 24 types de freins, relevant de problématiques financières, techniques, réglementaires et comportementales, ainsi que les principaux leviers pouvant permettre de les contourner. Au travers des discours et résultats obtenus, les contraintes financières et comportementales apparaissent prépondérantes pour les acteurs interrogés. Malgré tout, l'enchevêtrement des freins et l'interrelation de ces derniers entre catégories imposent une conclusion : le système actuel, face aux contraintes du facteur 4, nécessite non pas une adaptation voire une évolution mais une refonte des modes de penser et de faire (Villot 2012). L'association Negawatt propose une approche en trois étapes pour orienter une telle refonte (Salomon, Jedliczka & Marignac 2012):

- La « *sobriété* » vise à interroger les besoins en énergie afin de "faire les bonnes choses" et supprimer les gaspillages coûteux inutiles à tous les niveaux de l'organisation de la société. Cela peut par exemple se traduire par des améliorations de l'organisation (dans le temps et l'espace) afin de réduire les transports (de personnes, biens et énergie), limiter les pertes et les dépenses énergétiques et de matières premières inutiles.
- « *L'efficacité* » vise à "faire bien les choses". Une fois que le besoin est précisé, il faut y répondre de la façon la plus efficace possible. Cela peut se traduire par des choix technologiques sur des équipements efficaces (en prenant en compte le couple investissement + fonctionnement et pas seulement le montant d'investissement), l'amélioration des rendements des appareils existants.
- Enfin, les deux premières étapes ayant permis de réduire significativement les consommations, il s'agit, pour répondre aux besoins énergétiques incompressibles, de privilégier les énergies renouvelables et décentralisées.

J. Villot a pu préciser cette démarche en montrant la nécessité d'ordonnancer les notions de sobriété et d'efficacité. La sobriété de conception constitue en effet une étape préalable à l'efficacité énergétique du bâtiment. Mais les performances du bâtiment ne seront effectivement améliorées que si les usagers s'engagent dans des démarches de sobriété d'utilisation, rendue possible par une meilleure conception du bâtiment. La recherche-intervention, menée par J. Villot sur le territoire de Saint-Etienne Métropole, a couplé plus d'une centaine d'entretiens auprès de locataires de 3 logements sociaux faisant l'objet d'un projet de rénovation de bâtiments habités avec des simulations thermiques dynamiques des bâtiments. Les utilisateurs, acteurs incontournables du projet, conditionnent la sobriété à l'amélioration des niveaux de performances du logement et à une augmentation de leur niveau de confort. Les simulations thermiques dynamiques sur trois variables d'utilisation (température, taux d'occupation, fermeture des volets) ont montré que cette sobriété d'utilisation pourrait permettre une division par deux des consommations du bâti (Villot 2012).

3.2.7 Les méthodes quantitatives de représentation d'indicateurs

Si l'approche qualitative présente l'intérêt d'élargir le spectre des thèmes pris en considération par les décideurs, elle présente des limites dans l'optique d'aider les décideurs à choisir entre plusieurs alternatives ou à hiérarchiser leurs priorités parmi plusieurs types d'impacts a priori incommensurables. Ainsi, après cette première approche qualitative, plusieurs travaux de recherche que nous avons encadrés se sont concentrés sur des méthodes quantitatives de représentation d'indicateurs.

Deux corpus méthodologiques, complémentaires, sont venus inspirer ces travaux : les méthodes d'analyse multicritères, dont nous avons vu qu'elles étaient déjà largement utilisées au sein du centre SITE, et les méthodologies d'analyse de cycle de vie et d'empreinte écologique.

3.2.7.1 Les outils basés sur les méthodes d'analyse multicritères

Les méthodes d'analyse multicritères (AMC) sont généralement développées en quatre étapes (Raymond 2009) :

- Le *recensement des actions potentielles* : il faut d'abord dresser la liste des solutions possibles ou « *actions potentielles* » que l'on souhaite comparer.
- Le *choix des critères d'évaluation* de ces actions doit être effectué, en vérifiant l'exhaustivité de ces critères (tous les aspects du problème doivent être représentés), leur cohésion et leur non-redondance.
- *L'élaboration de la matrice des jugements* consiste à élaborer un tableau à double entrée dans lequel les lignes représentent les actions à comparer, et les colonnes les critères évalués. À l'intersection d'une ligne et d'une colonne figure l'évaluation que l'on peut porter sur l'action vis-à-vis du critère correspondant (Raymond 2009).
- *L'agrégation des performances* pose le problème du choix de la méthode d'agrégation.

Trois types d'approches opérationnelles peuvent être choisies en vue de l'agrégation (Maystre, PICTET & SIMOS 1994):

- **L'approche du critère unique**, ou *agrégation complète transitive*, évacue les problèmes d'incommensurabilité entre les différents critères afin d'apporter une réponse synthétique et exhaustive.
- **L'approche du surclassement de synthèse,** *ou agrégation partielle,* accepte l'incomparabilité et conduit à comparer différentes actions possibles entre elles, sur la base des préférences exprimées par le décideur. Les résultats de l'analyse dépendent donc du nombre d'actions ou de solutions évaluées (Dumoulinneuf 2010).
- **L'approche,** intermédiaire, **de l'agrégation locale itérative,** avec itérations essai – erreur, alterne les étapes de calculs permettant de déterminer les compromis successifs et les étapes de dialogue afin de déterminer les préférences du décideur

(Dumoulinneuf 2010). Cette méthode demande une grande disponibilité et une forte confiance du décideur envers l'expert car ces méthodes sont très souvent inaccessibles à des non-spécialistes (Raymond 2009).

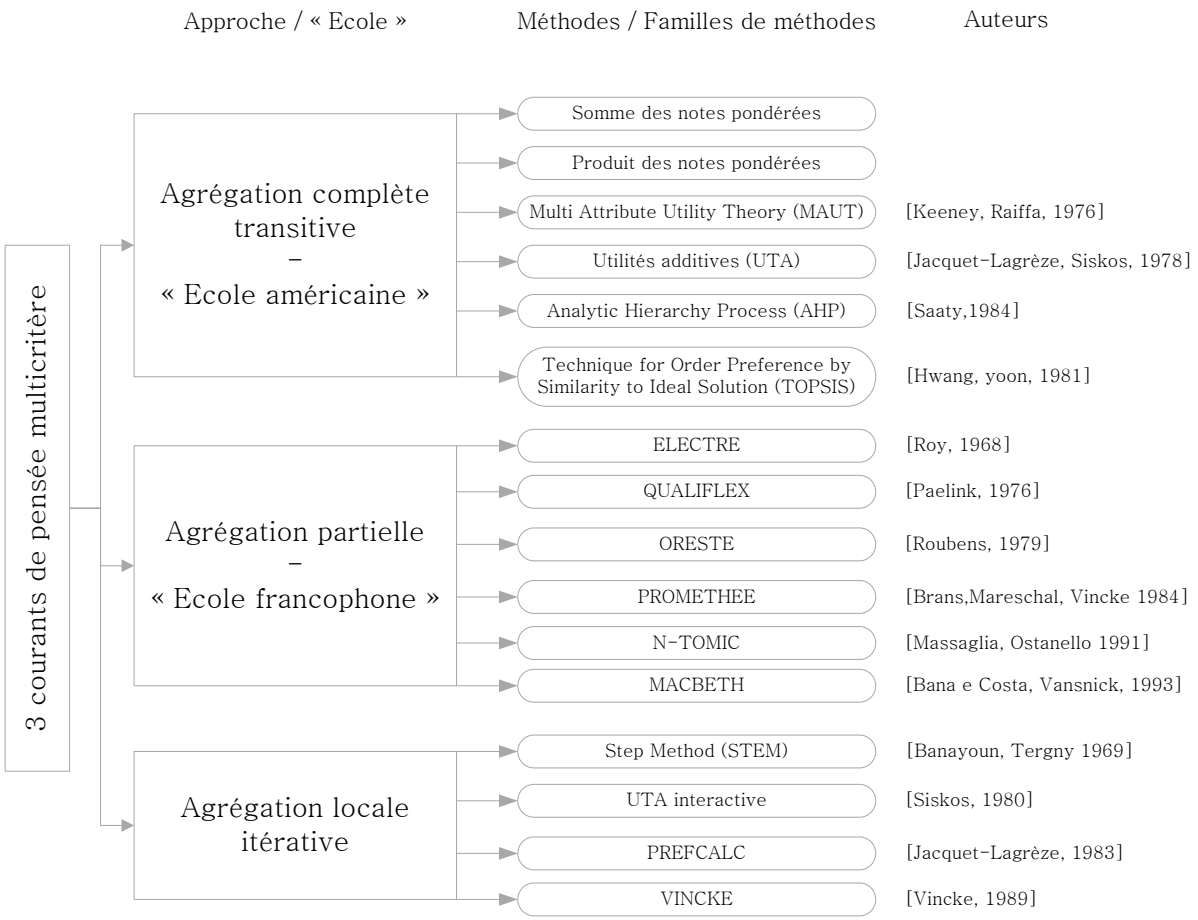


Figure 29. Les différentes approches d'agrégation possibles (Maystre, PICTET & SIMOS 1994)

Des méthodes d'analyse structurelle peuvent être utilisées afin de formaliser et vérifier la pertinence des critères choisis pour représenter le système d'évaluation. Par exemple, l'analyse structurelle, développée par M. Godet, est un outil permettant de structurer une réflexion collective (Godet 2001)(Godet 2001) qui a pour objectif de décrire un système à l'aide d'une matrice mettant en relation les éléments constitutifs de ce système. Plus particulièrement, la méthode MICMAC (Matrice d'Impacts Croisés - Multiplication Appliquée à un Croisement) a pour objet, de faire apparaître les relations d'influence et de dépendance entre les variables afin d'identifier celles qui sont essentielles à l'évolution du système (Godet 2001). Concrètement, elle consiste en un programme de multiplication matricielle dont l'objectif est d'analyser les variables en fonction de leur influence et de leur dépendance vis-à-vis du système, pour ensuite les classer. Cette analyse se fait en 3 étapes :

- Le *recensement et la définition des variables* visent à formaliser l'ensemble des variables caractérisant le système étudié et son environnement
- La *description des relations entre les variables* consiste à remplir un tableau (matrice d'analyse structurelle) décrivant les relations des variables entre elles selon

l'influence d'une variable sur une autre, la relation entre deux variables (directe ou indirecte), l'influence éventuelle d'une troisième variable qui influerait sur les deux premières.

- *L'identification des variables-clés* permet de représenter, sur un graphique, les différentes variables caractérisant le système selon leur niveau d'influence et de dépendance.

Selon la position des différentes variables sur le graphe dépendance/influence, il est possible de caractériser le niveau de stabilité de la représentation proposée pour le système. Un système est dit stable s'il est représenté par des variables qui sont soit fortement influentes et peu dépendantes, soit dépendantes mais peu influentes. A contrario, un système est considéré comme instable s'il comporte de nombreuses variables dites « *relais* », c'est-à-dire à la fois dépendantes et très influentes.

Nous n'avons pas de position de principe quant à la méthode d'analyse multicritère à privilégier, si ce n'est que nous essayons, dans la mesure du possible, d'éviter la mise en place de méthode d'agrégation complète. En effet, nous souhaitons éviter d'agréger des aspects environnementaux, sociaux et économiques, pour les raisons évoquées dans le paragraphe 2.2 (refus de l'hypothèse de substituabilité entre les différentes formes de capitaux).

Nous avons plus particulièrement utilisé les méthodes d'analyse multicritère, dans une perspective d'évaluation environnementale, dans le cadre d'un projet visant à proposer une méthode d'évaluation des impacts environnementaux liés aux activités de la station d'épuration Furania (Saint-Etienne). Le partenaire de ce projet était le groupe SAUR. Les ingénieures avec qui nous étions en relation se sont bien approprié le projet et se sont investies dans les différents choix méthodologiques. Il ne s'agissait pas ici de comparer plusieurs *actions potentielles* possibles afin d'aider les décideurs à effectuer un choix, mais l'objectif était de représenter, sur un graphe unique, les différents impacts d'une station d'épuration. Nous avons ainsi fait le choix de comparer différentes *situations* (avec la station pendant l'année n, avec la station pendant l'année n-1 et sans station d'épuration) à la place des *actions potentielles* ou *solutions,* classiquement comparées entre elles par les méthodes d'AMC. Il était donc nécessaire de choisir une méthode qui ne modifiait pas les résultats d'une évaluation donnée lorsque l'on évalué une nouvelle situation (année n+1, par exemple).

Figure 30. La station d'épuration de Furania, à La Fouillouse

Nous avons ainsi fait le choix d''une méthode hybride utilisant, pour chaque critère, les principes de la méthode MAUT (Multi Attribute Utility Theory) qui consiste dans un premier temps à définir les paramètres sur lesquels seront évalués les critères et à attribuer des indices de performance à l'aide de fonctions d'utilité, Uj, permettant de transformer des critères, exprimés dans des unités différentes, en des valeurs exprimées selon une échelle unique. Concrètement, afin de comparer les données des bilans annuels de la station d'épuration à des données de référence, différentes fonctions permettaient d'associer, à chaque donnée du bilan annuel (valeur physico-chimique, biologique ou managériale), une utilité (ou « *Indice de performance* ») correspondant à une note entre 0 et 100. Selon les cas, les indices de performances sont ensuite pondérés puis agrégés pour évaluer les critères. Enfin, les critères sont pondérés et agrégés pour évaluer chaque « *cible* ». Chaque fonction d'utilité a été validée par nos interlocutrices du groupe SAUR.

Nous avons fait le choix de ne pas agréger complètement les différents critères, en conservant 5 cibles finales pour l'évaluation. Ces cibles correspondent à différents domaines dont nous considérons qu'ils ne peuvent pas se compenser entre eux : qualité d'eau rendue, air et climat, sols et ressources, biodiversité et société, pour notre cas par exemple.

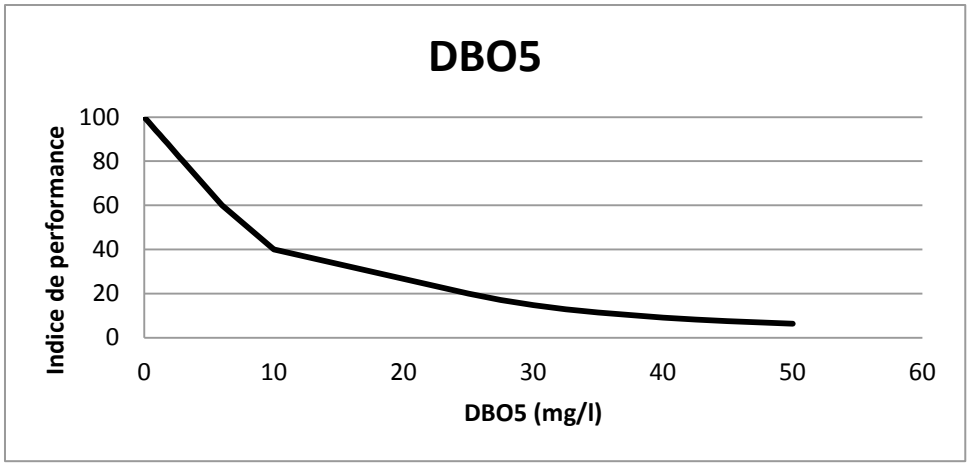


Figure 31. Exemple de fonction d'utilité choisie pour la DBO5 (Dumoulinneuf, Gondran & Laforest 2011)

L'approche MAUT propose deux modèles visant à agréger les critères entre eux : le modèle additif et le modèle multiplicatif.

Modèle additif	Modèle multiplicatif
$U= \Sigma Uj(gj)$	$U= \Pi Uj(gj)$

Afin d'agréger certains critères, nous avons utilisé le modèle additif, associé à une pondération dont les coefficients ont été définis par la méthode hiérarchique multicritère (MHM) qui nous a permis de définir les poids de chaque critère en tenant compte des préférences des différentes parties intéressées de la station que nous avons consultées.

Bien qu'elle se base sur une structure mathématique complexe, la méthode hiérarchique multicritère demeure suffisamment facile à implanter (Del Vecchio 2006). Cette méthode permet de trier les éléments d'un système en différents niveaux et de considérer l'interdépendance entre ces éléments. Elle possède trois avantages majeurs (Andrieu et al. 2013) :

- elle propose un cadre méthodologique pour l'établissement des priorités et permet d'éviter les incohérences dans les jugements quant à la définition des poids.
- elle cherche à comparer deux à deux les éléments de la hiérarchie, démarche qui semble mieux adaptée au cerveau humain qui ne peut considérer à la fois qu'un nombre limité d'informations (Raymond 2009).
- elle permet la vérification de la cohérence des choix.

Les défauts pouvant être reprochés à cette méthode sont qu'elle admet des renversements de rangs. C'est-à-dire que l'ajout d'un nouveau critère entraine une modification des priorités entre les critères déjà existants (Andrieu et al. 2013). Nous avons donc travaillé avec une base fixe de critères, définis avec le groupe SAUR. Cependant, pour définir les différents coefficients de pondération des différents critères avec la méthode MHM, nous avons interrogé les diverses parties prenantes de la station d'épuration sur les préférences (collectivités territoriales, DDT, agence de l'eau, association de mesure de la pollution atmosphérique de Saint-Etienne, fédération nationale pour la pêche, association de

protection de la nature, structure en charge du Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux) (Dumoulinneuf, Gondran & Laforest 2011).

Pour certains critères liés à la pollution des eaux, les modèles additif ou multiplicatif ne semblaient pas pertinents du fait de l'impossibilité de compensation entre les aspects représentés. Nous avons alors choisi de mettre en œuvre le *principe de l'élément déclassant*. Ce principe est en effet imposé dans le cadre des évaluations des milieux aquatiques, par la Directive Cadre sur l'Eau, et était utilisé dans le cadre de la méthode d'évaluation de la qualité des cours d'eau (SEQ eau) (MEEDDAT 2009). Cette méthode présente ainsi l'avantage d'alerter l'utilisateur de l'outil sur le critère le plus défavorable.

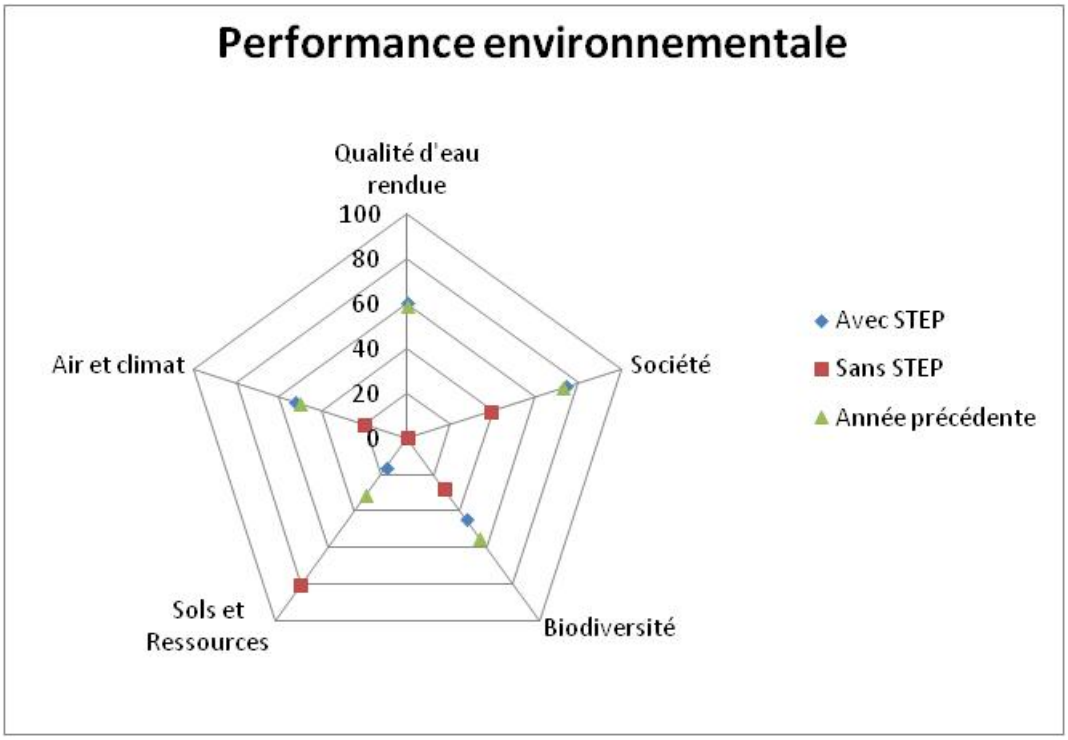


Figure 32. Exemple de représentation pour l'évaluation des impacts environnementaux liés aux activités d'une station d'épuration (Dumoulinneuf, Gondran & Laforest 2011)

L'outil ainsi construit est, aujourd'hui encore, utilisé par le groupe SAUR qui exploite la station d'épuration Furania de Saint-Etienne, comme outil de communication et d'information en interne. Cet outil permet en particulier aux exploitants d'identifier, chaque année, les points faibles de la station (ceux qui détériorent la note de l'évaluation finale de chaque cible) du fait du principe méthodologique de l'élément déclassant qui avait été choisi.

Nous rejoignons A. Gasparatos et al. lorsqu'ils soulignent que l'agrégation implique plusieurs procédures qui reposent sur des jugements de valeurs non négligeables concernant la commensurabilité des différents thèmes sociaux et écologiques ainsi que l'équité intra et intergénérationnelle (choix du taux d'actualisation, par exemple) (Gasparatos 2012). Il nous semble que le principe de l'élément déclassant, aujourd'hui principalement utilisé dans le domaine de l'évaluation de la qualité de l'eau, présente des perspectives intéressantes, en termes d'agrégation, dans le cadre plus large de l'évaluation pour la soutenabilité.

Des travaux basés sur les méthodes d'analyse multicritère se sont continués dans le cadre de la thèse CIFRE de S. Dumoulineuf (Dumoulinneuf 2014) effectuée au sein du service « *Développement durable* » de CASINO, entreprise de la grande distribution.

Figure 33. Siège social du groupe CASINO, situé à Saint-Etienne

Dans le cadre d'une démarche de responsabilité sociétale, certaines actions initialement proposées pour réduire un impact environnemental ciblé peuvent avoir d'autres impacts sociaux et environnementaux, positifs comme négatifs. Aucun outil ne permet actuellement d'identifier ces impacts "collatéraux" ni de les évaluer de manière satisfaisante. Parmi les limites des méthodologies d'évaluation RSE étudiées, il a été constaté que peu avaient pour objectif une évaluation a priori des impacts, éventuellement contradictoires, des actions RSE proposées. Par exemple, certaines solutions proposées afin de remplacer les fluides frigorifiques HFC, par des fluides générant un plus faible impact vis-à-vis des émissions de gaz à effet de serre, présentent un risque plus élevé en termes de santé et sécurité des employés (risques d'inflammabilité ou d'explosion). D'autre part, se pose la question, pour une entreprise complexe, composée de plusieurs entités en interrelations les unes avec les autres, d'évaluer la contribution d'une action donnée à la démarche de responsabilité sociétales au niveau des différentes entités, et de l'organisation. En effet, une action donnée peut avoir un impact positif pour certaines entités du groupe, mais négatif pour d'autres. Enfin, la question temporelle est également complexe à prendre en compte dans le cadre d'une évaluation a priori : sur quelle échéance de temps mesurer les impacts, comment allouer dans le temps des impacts générés ponctuellement (émissions de gaz à effet de serre nécessaires pour la fabrication d'une nouvelle installation plus sobre, par exemple). Ainsi, la multitude des parties prenantes, des points de vue, et des enjeux, souvent difficilement quantifiables et évolutifs dans le temps, ainsi que les incertitudes associées sont autant de freins à l'évaluation a priori des différentes solutions envisagées. L'objectif de la thèse de S. Dumoulinneuf était de lever ces limites méthodologiques. Elle a proposé une démarche d'évaluation *a priori*, qualitative puis quantitative, des impacts sociaux et environnementaux, structurée autour des domaines d'actions listés par la norme ISO 26 000 (ISO 2010).

La méthodologie d'évaluation proposée est organisée selon quatre étapes (Dumoulinneuf, Gondran & Burlat 2013):

1. Définition du périmètre de mise en œuvre de l'action élémentaire (définie comme le passage d'une *pratique de référence* à une *pratique alternative)*,
2. Evaluation qualitative de l'action élémentaire selon l'ensemble des domaines d'actions ISO 26000 (pouvant conduire au choix, ou non, de continuer la réflexion et mettre en œuvre l'action étudiée),
3. Evaluation quantitative des domaines d'actions pertinents et des incertitudes associées,
4. Analyse des coûts globaux.

Pour chaque action évaluée, les résultats sont ensuite présentés :

- sous forme d'un profil qualitatif des impacts sociaux et environnementaux,
- sous forme de graphiques représentant les impacts sociaux et environnementaux quantifiables en fonction du coût de l'action proposée.

Cette méthode a été testée pour évaluer des actions de remplacement d'installations frigorifiques, dans un contexte où l'utilisation des fluides frigorigènes de type HFC va progressivement être interdite au profit de gaz naturels.

Les projets faisant appel à l'analyse multicritère sont synthétisés dans le Tableau 12.

Tableau 12. Synthèse des projets entrepris dans le cadre de l'évaluation basée sur les méthodes d'analyse multicritère

Projet	Années	Partenaires	Mémoire de master recherche ou thèse	Montant Financier du projet
Développement d'une méthode d'évaluation des impacts environnementaux liés aux activités de la station d'épuration Furania (Saint-Etienne)	2010 - 2011	Mission réalisée pour la SAUR	(Dumoulinneuf 2010).	15 000 €
Développement d'une méthode d'évaluation environnementale, économique et sociale de solutions innovantes de réduction des impacts environnementaux pour la grande distribution	2011-2013	Encadrement de thèse CIFRE (CASINO)	(Dumoulinneuf 2014)	60 000 €

3.2.7.2 Les outils basés sur les méthodologies de type ACV

Depuis le début des années 1990, des méthodes basées sur le principe de l'analyse multicritère se sont développées dans le domaine de la gestion environnementale (Maystre, PICTET & SIMOS 1994) mais également de l'évaluation des pressions exercées sur l'environnement. En particulier, des méthodes d'évaluation se sont développées afin de prendre en compte l'ensemble des étapes du cycle de vie des produits, de leur fabrication à leur élimination finale (Boeglin, Veuillet 2005). Initialement nommée « *écobilan* », cette approche, finalement nommée « *analyse de cycle de vie* » (ACV), a fait l'objet de travaux de recherche (Rousseaux 1993) puis de normalisation internationale (famille des normes ISO 14040) afin d'en fixer les bases méthodologiques à respecter. Cette technique d'évaluation des aspects et impacts environnementaux potentiels se déploie selon 4 étapes : définition des objectifs et du champ de l'étude ; analyse de l'inventaire ; évaluation de l'impact puis interprétation des résultats (ISO 1997). Les notions et méthodologies développées dans le cadre de ces travaux de recherche en ACV ont ainsi fortement inspiré nos travaux de recherche.

La thèse de Gaël Guilloux (2005 – 2009), initialement financée par l'ADEME et le Centre de Design Rhône-Alpes avait pour objectif d'intégrer l'ACV au sein de la démarche, plus créatrice et visant à prendre en compte les usagers, des designers. Il est apparu des oppositions fortes entre ces deux mondes et positionnements méthodologiques. En effet, le design industriel, qui vise à prendre en compte l'usage et l'expérience de l'utilisateur (Contexte) pour proposer un concept de produit (fonctionnalités, forme, esthétique, usage, etc.), sur la base d'un problème « *mal défini* » ou « *mal structuré* » se positionne généralement dans une démarche de créativité, parfois peu structurée. L'éco-conception quant à elle vise à identifier des variantes, pour maîtriser les impacts environnementaux, sur de nouveaux produits ou propose des pistes d'amélioration de produits existants. Contrairement au design, elle est issue du paradigme des sciences dites de l'ingénieur, et G. Guilloux a montré, sur la base d'une enquête auprès de 26 entreprises engagées dans une démarche d'éco-conception, que les démarches d'éco-conception, si elles répondent à des enjeux propres à l'entreprise (image, finance, mobilisation en interne, réduction de son impact), permettent rarement l'intégration et l'apport des autres compétences du projet (Guilloux 2009). En particulier, cette approche souvent très technique ne prend généralement pas en compte les aspects liés à l'usage, pour faciliter l'usage de l'objet proposé, et encore moins pour le réinterroger dans une optique de sobriété.

Une hypothèse de la thèse de G. Guilloux était que l'approche, les méthodologies (telles que l'ACV) et les outils de l'éco-conception ne correspondent pas aux modes de faire des designers. Le rôle du designer est supposé introduire, dans le développement d'un produit, les besoins de son usager final ainsi que la vision du contexte du produit. Cependant, si les designers exploraient, entre 2005 et 2009, les actions environnementales, ils s'impliquaient rarement dans un processus formel d'évaluation environnementale des flux physiques générés par le projet sur son cycle de vie. Enfin, la dernière hypothèse de cette thèse était que

la présence du design au sein de démarche d'éco-conception pourrait permettre d'intégrer les valeurs d'usage et apporter une plus grande différenciation du produit, et une plus grande homogénéité des actions menées au sein de l'entreprise (Guilloux 2009)(Guilloux 2009). Ces hypothèses ont été validées par une enquête menée, en 2007, auprès de 26 entreprises ayant réalisé et communiqué sur leur démarche d'éco-conception. Cette enquête a, entres autres, montré que les démarches d'éco-conception était généralement portées par les acteurs techniques, impliquant peu les autres acteurs de l'entreprises. Dans ce contexte, l'éco-conception n'apparaît pas comme vecteur d'innovation et de rupture.

Une expérimentation « *Cradle to Cradle Design*© » menée auprès de 9 entreprises, où les designers étaient chefs de projet, a mis en évidence la capacité du designer à changer le paradigme économique et le business modèle de l'entreprise, et à mobiliser tous les acteurs et compétences du projet sur des sujets innovants vers des problématiques court, moyen et long termes (Guilloux 2009).

Afin d'aider le designer à intégrer les aspects environnementaux dans sa démarche, G. Guilloux a proposé une méthodologie d'orientation au design Responsable (MOD-R) visant à déterminer les actions d'écodesign, faire appel à des outils spécifiques à sa fonction et apporter une réponse responsable. Cette méthode considère que les actions d'écodesign s'intéressent d'abord au contexte du projet avant d'aborder le bien ou le service. Elles sont rassemblées autour de trois stratégies que sont le style de vie, la consommation et le bien (ou service). À partir de connaissances et d'objectifs environnementaux, elle offre une aide au designer pour intégrer aux différentes étapes de l'activité et aux outils du design, des actions ou des compléments. Deux designers indépendants, missionnés par une entreprise de l'agroalimentaire sur un projet d'emballage pour yaourts, ont suivi et permis de valider la méthodologie Mod-R (Guilloux 2009). Ainsi, bien qu'inspirée par la méthodologie générale de l'ACV, cette thèse a surtout mis en évidence le décalage existant entre le monde de l'ingénierie, dont est originaire l'ACV, et celui du design. Il interroge ainsi les capacités des outils techniques d'évaluation, tels que l'ACV, à véritablement remettre en cause les modes de faire conventionnels (ici, en conception dans le monde industriel). Ce travail de thèse a donc eu pour objectif de remettre l'usager au centre des préoccupations, quitte à proposer une approche simplifiée d'évaluation environnementale.

La démarche d'ACV a également été utilisée dans les travaux de thèse de V. Moreau (2012). Ces travaux visaient à proposer une méthodologie permettant conjointement l'expression des impacts environnementaux locaux et planétaires, incluant ainsi les impacts directs d'une organisation sur son site, mais également les impacts générés par la fabrication des biens et services utilisés par l'organisation étudiée. En particulier, la méthode proposée a été appliquée au cas du service informatique d'une entreprise multinationale de la grande distribution. En effet, les enjeux environnementaux posés par l'usage des technologies de l'information nous ont semblé poser des questions spécifiques en termes environnementaux. Ce secteur est en pleine croissance, générant ainsi une demande énergétique de plus en plus importante pour alimenter les équipements informatiques au sein des établissements utilisateurs et dans les data-centres. De surcroît, s'ajoute à

cette phase de consommation, facilement identifiable par les utilisateurs, la phase de production des équipements dont les conséquences sur l'environnement sont difficilement perceptibles par les utilisateurs car les impacts environnementaux, générés principalement par la production des équipements des TIC, mais également par la production de l'électricité qu'ils consomment pour leur usage, paraissent "délocalisés" et "invisibles" aux yeux de l'utilisateur final.

La démarche proposée dans le cadre de cette thèse visait ainsi à enrichir l'approche de l'ACV, générique et ciblée sur le produit, par l'ajout de données spécifiques au site et à l'organisation étudiée. Il s'agissait alors de combiner des données génériques, disponibles dans des bases de données, et des données spécifiques recueillies auprès des utilisateurs de l'organisation étudiée (Moreau, Gondran & Laforest 2011). Cette étape de terrain, point central de la méthodologie, permet dans un premier temps d'obtenir l'inventaire des équipements présents, et dans un second temps de connaître et de comprendre le comportement réel des utilisateurs via une enquête et des mesures de puissances et de consommations électriques des équipements représentatifs du panel inventorié (utilisation de boitiers d'acquisition de valeurs dits « *économètres* »).

L'approche d'évaluation environnementale des systèmes informatiques développée au cours de ce travail a ainsi permis de mettre en exergue les répercussions sur l'environnement que peuvent avoir les technologies de l'information au sein d'une organisation. Un des principaux résultats a montré que la majorité des impacts environnementaux sont plus liés à la phase de production des équipements qu'à la phase d'utilisation. Cependant, l'approche multi-indicateur permet de mettre en évidence le fait que certains indicateurs (disability-adjusted life year (DALY) versus émissions de gaz à effet de serre, par exemple) donnent des résultats susceptibles d'aboutir à des interprétations inverses en termes de préconisations d'actions.

Tableau 13. Synthèse des projets financés par des partenaires et ayant fait appel à l'analyse de cycle de vie

Intitulé du projet de recherche	Partenaires du projet	Période du projet	Montant financier du projet (HT)
These sur l'écodesign de Gael Guilloux	ADEME	2005-2009	Salaire du doctorant sur un an
Evaluation et représentations des pressions environnementales globales exercées par des activités industrielles	CASINO IT	2009	32 500 €
Ce projet a servi de terrain d'expérimentation pour la thèse de Valentine Moreau. Il a permis le développement d'une méthode d'évaluation des pressions environnementales locales et globales exercées par les services informatiques. Il a conduit au rapport (Moreau et al., 2010)			
Evaluation environnementale des besoins de mobilité des grandes aires urbaines en France : approche par analyse de cycle de vie	EDF (encadrement de thèse de S. Le Féon)	2011-2014	30 000 € + salaire du doctorant sur 3 ans

Partant du constat que les déplacements de personnes et de marchandises sont responsables d'une part importante des impacts environnementaux à l'échelle de la ville, la thèse de S. Le Féon, entièrement financée par EDF, a été menée de 2011 à 2014. Elle partait des hypothèses que les impacts environnementaux des phases situées en amont ou en aval de la phase d'usage ne sont pas négligeables et que l'étude différenciée des besoins de mobilité pouvait apporter un éclairage nouveau aux méthodes traditionnelles d'évaluation (Le Féon 2014). La façon de répondre à chaque besoin induit, a priori, des impacts environnementaux différents. La méthode d'Analyse de Cycle de Vie a été retenue afin d'estimer ces derniers.

La méthode proposée d'évaluation environnementale des besoins de mobilité des grandes aires urbaines en France a été développée sur un cas d'application : les émissions de GES de l'Agglomération de Saint-Etienne afin de se confronter à la réalité du terrain et de se procurer des données spécifiques. Ce cas d'application a donné une première série de résultats, confirmant à la fois la part non négligeable d'impacts hors phase d'usage et la disparité des émissions pour une personne.kilomètre selon le besoin de déplacement. Ensuite, une proposition de typologies urbaines a été faite en réalisant une Analyse en Composantes Principales, couplée à une Classification Ascendante Hiérarchique, sur les grandes aires urbaines de France, sur des variables influentes pour la mobilité. Trois classes d'aires urbaines ont été étudiées. La méthodologie a été appliquée aux données des Enquêtes Ménages Déplacements de trois parangons de ces trois classes : Bordeaux, Toulon et Valenciennes. Des disparités sont observées pour certains motifs et il est possible d'identifier des marges de progression pour chaque agglomération. Enfin, l'utilisation de l'ACV, multicritère a également révélé la nécessité de travailler avec plusieurs indicateurs (Le Féon

2014). En particulier, dans le domaine des transports, les perspectives de ce travail serait de travailler également sur

- les enjeux environnementaux pour la santé humaine (toxicité humaine, radiations ionisantes, oxydation photochimique, effets respiratoires et destruction de la couche d'ozone),
- les enjeux liés à la modification du territoire (impacts sur la biodiversité et changements d'affectation des sols), liés aux infrastructures,
- ainsi que sur les enjeux liés à la ressource en eau, en particulier liés au thème des transports du fait du développement de l'utilisation des agro-carburants.

Suite à cette thèse, soutenue début 2014, une collaboration s'est mise en place avec Jean-Pierre Nicolas, rapporteur de la thèse, professeur au Laboratoire d'Economie des Transports (LET). L'objectif est de développer une méthode basée sur le principe de l'ACV qui soit adaptée aux résultats de simulation des mobilités fournis par le modèle transport-urbanisme SIMBAD, développé par le LET sur l'aire urbaine de Lyon en partenariat avec l'Agence d'Urbanisme pour le développement de l'agglomération lyonnaise. Le modèle SIMBAD fournit une vision prospective des mobilités de l'aire urbaine de Lyon à l'horizon 2025. Le projet de recherche que nous souhaitons mettre en place ensemble (projet de thèse, par exemple) aura pour objectif d'évaluer, de façon prospective, les impacts environnementaux de ces mobilités selon différents scénarios urbanistiques ou technologiques (développement de la mobilité électrique, par exemple). Un premier travail de recherche, en cours, a pris la forme d'un stage de master financé par le pôle de compétitivité Lyon Urban Trucks and Buses (LUTB), effectué par Cyrille François pendant l'été 2014. L'objectif de ce stage était de réaliser l'analyse de cycle de vie des mobilités simulées par SIMBAD pour 2006, et d'identifier les paramètres les plus sensibles pour les résultats de cette évaluation environnementale. Dans le cadre de ce travail, 9 indicateurs ont été évalués : la contribution au changement climatique, la formation de particules, la formation d'oxydants photochimiques, l'acidification terrestre, l'épuisement des ressources fossiles et métalliques, l'utilisation d'énergies non renouvelables et renouvelables et l'occupation des sols.

3.2.8 L'empreinte écologique

Parmi les différents indicateurs de pression existant dans la littérature, l'empreinte écologique a plus particulièrement retenu notre attention. Dès 2003, dans le cadre des travaux de thèse d'Aurélien Boutaud sur les outils d'évaluation des politiques publiques en matière de développement durable, nous l'avons identifiée comme un indicateur potentiellement pertinent à l'échelle des collectivités locales (Boutaud, Gondran & Brodhag 2004). En effet, conceptualisée dans les années 1990 par deux chercheurs de l'Université de Colombie Britannique : Mathis Wackernagel et William Rees, l'empreinte écologique est le premier indicateur qui s'est donné pour objectif de comparer « *l'offre* » en ressources naturelles à la «*demande*» humaine sur ces ressources, liée à la consommation finale de biens

et services. Sa vocation est de comparer les capacités de la biosphère (pour régénérer les ressources naturelles et assimiler les déchets) à la demande humaine. Concrètement, cet objectif se traduit par une question de recherche qui peut être quantifiée : quelle part des capacités bioproductives de la planète est nécessaire pour subvenir à la demande liée aux activités humaines ? (Wackernagel, Rees 1999)

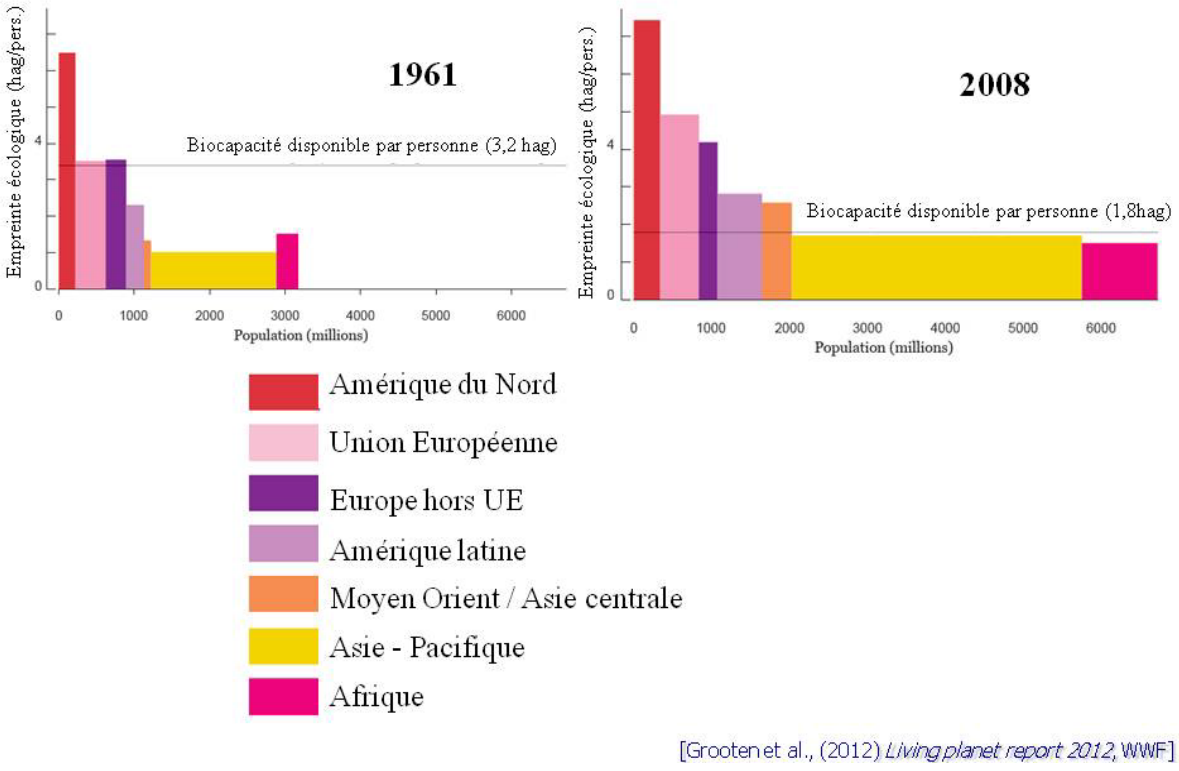
Le système de comptabilité de l'empreinte écologique repose sur l'hypothèse que les flux de ressources et de déchets peuvent être mesurés en termes de surfaces biologiquement productives, nécessaires pour produire ou assimiler ces flux. Ainsi, d'un côté, l'empreinte écologique vise à estimer la surface biologiquement productive de terre et de mer qu'il faudrait mobiliser pour produire les biens et services consommés par les activités humaines ou absorber certains déchets. D'un autre côté, est recensée la surface de terre ou de mer disponible pour cette production : la « *biocapacité* » qui représente la capacité de la biosphère à répondre à la demande humaine en termes de ressources renouvelables et d'absorption des déchets. Par exemple, l'empreinte écologique liée à la consommation de cultures agricoles sera la surface nécessaire pour produire les quantités de céréales, fruits et légumes consommées chaque année par une population donnée, tandis que la biocapacité sera la surface disponible pour cette production agricole. Cet indicateur cherche donc à représenter la quantité de « *nature* » qu'il faut mobiliser pour faire fonctionner durablement l'économie humaine (Boutaud, Gondran 2009). Plus précisément, il s'attache à la partie vivante et régénérative de l'écosystème terrestre (la biosphère) en considérant que le maintien dans le temps de la capacité de charge de cette biosphère est une des conditions les plus critiques de la durabilité écologique.

L'empreinte écologique peut donc être définie comme « *un indicateur synthétique qui représente la quantité de capacité régénérative de la biosphère nécessaire au fonctionnement des activités humaines pendant une année donnée, en termes de superficie correspondante de sols ou d'espaces aquatiques biologiquement productive devant être mobilisée pour répondre à cette demande sans entamer le capital naturel – en utilisant les technologies et les méthodes de production et de gestion des ressources en vigueur durant l'année en question* »(Boutaud, Gondran 2009).

Concrètement, l'empreinte écologique d'une population agrège trois composantes : les surfaces nécessaires à la production de ressources biologiques (champs cultivés, pâturages, espaces marins et forêts) ; les surfaces artificialisées par les infrastructures humaines ; et les surfaces de forêt qui seraient nécessaires pour absorber les émissions de CO2 liées à l'utilisation des énergies fossiles, qui ne sont pas absorbées par les océans.

Le mode de calcul de la biocapacité prend en compte la surface de terre ou de mer disponible pour chaque type d'usages (cultures, forêts, pêcheries, pâtures, sols artificialisés) ainsi que sa productivité biologique, c'est-à-dire la masse de ressources biologiques récoltées par hectare. Cette surface étant relativement constante, l'augmentation de la population conduit à une diminution de la biocapacité par personne.

L'empreinte écologique est estimée tous les deux ans pour plus de 150 nations, par le Global Footprint Network (GFN), pour le compte du World Wide Fund International (WWF International). Il s'agit d'une configuration originale. En effet, l'indicateur a été proposé dans le cadre de travaux de recherche et fait l'objet de nombreuses publications scientifiques. Cependant, si certains organismes internationaux tels que l'UNEP (voire certains chefs d'Etat, tel que le Président Chirac dans son discours de Johannesburg, en 2002) y font régulièrement référence, c'est une organisation non gouvernementale (le GFN), et non un institut public national ou international, qui réalise les calculs d'empreinte écologique et fait évoluer la méthodologie de calcul afin de la rendre plus robuste. Pour s'appuyer dans sa mission et pour promouvoir l'empreinte écologique auprès des acteurs locaux, le GFN anime un réseau mondial, dont nous faisons partie, qui rassemble les chercheurs et praticiens travaillant sur l'empreinte écologique.



[Grooten et al., (2012) *Living planet report 2012*, WWF]

Figure 34. L'empreinte écologique des grandes régions du Monde en 1961 et 2008, par personne (Grooten 2012)

En 2008, l'empreinte écologique mondiale était estimée par le GFN à près de 18 milliards d'hectares globaux, soit environ 2,7 hag/personne. Cette valeur moyenne cache de fortes inégalités selon les modes de vie dominant dans les différentes nations, mais elle est nettement supérieure à la biocapacité mondiale (1,8 hag/pers) (Grooten 2012).

3.2.8.1 Des calculs d'empreinte écologique à l'échelle de l'organisation ou du projet…

Nos travaux de recherche sur l'empreinte écologique ont ainsi plus particulièrement visé à transposer les méthodes d'estimation de cet indicateur du niveau "macro" des nations, pour lequel la méthodologie a été pensée et affinée, vers le niveau "micro" des organisations. Notre premier projet de recherche sur ce thème, mené en 2004 et financé par le groupe Séché environnement, dans le cadre du mémoire de DEA de Fabian Wernert (2004), visait à proposer une méthodologie de calcul d'empreinte écologique d'une filière de traitement de déchets, avec une application à l'incinération de déchets dangereux. Ce mémoire a mis en évidence, d'une part, la limite de l'empreinte écologique pour évaluer des systèmes dont les principaux impacts concernent non pas l'utilisation de ressources biologiques, mais l'émission de produits toxiques, dans l'air ou l'eau. Les émissions de produits polluants toxiques ne sont en effet pas représentées par l'empreinte écologique. D'autre part, F. Wernert a proposé une méthode pour essayer de représenter les consommations en eau, non prises en compte par l'empreinte écologique, sous la forme d'une « *surface eau* » (Wernert 2004).

Suite à ce premier travail exploratoire, la thèse d'I. El Bouazzaoui a eu pour objectif de proposer une méthodologie d'estimation d'empreinte écologique pour des sous-systèmes locaux, qui ne faisait pas encore l'objet d'une standardisation contrairement à la méthode des calculs d'empreintes nationaux qui devenait de plus en plus robuste.

Deux approches sont possibles pour transformer des données de consommations, propres au système étudié, en empreinte écologique :

- La méthode « *composée* » (« *compound-based* »), basée sur les feuilles de calculs nationaux, qui consiste à pondérer les différentes composantes de l'empreinte du pays dans lequel se situe le système étudié par les ratios entre consommations propres au système étudié et consommations moyennes nationales.
- L'approche « *par composantes* » (« *component-based* ») se base sur un inventaire direct des consommations à un niveau plus local (région, ville, par exemple) et par l'utilisation de facteurs de conversion spécifiques.

Cette dernière méthode nous a semblé plus appropriée pour des calculs d'empreinte d'une organisation, mais elle nécessite des adaptations méthodologiques pour rendre plus fiables les calculs à petite échelle (au niveau d'une organisation ou d'un projet). Le travail de thèse d'I. Elbouazzaoui a donc visé à développer une méthode de calcul d'empreinte écologique en mettant en évidence les intérêts et limites qui peuvent être tirés d'un tel calcul au niveau d'une organisation ou d'un projet. Plus particulièrement, dans le cadre des coopérations entre le centre SITE et la DDE 42 (voir le 3.2.4 décrivant les travaux menés par ailleurs dans ce cadre), nous avons choisi de travailler sur le projet de mise à 2*2 voies du tronçon de la RN7-RN82 entre Cosne-Sur-Loire et Balbigny. En effet, du fait des partenariats établis par ailleurs avec la DDE 42, nous pouvions plus facilement obtenir les données nécessaires pour

évaluer l'empreinte écologique de cette activité de travaux publics. Les résultats des calculs d'empreinte écologique ont ainsi permis de mettre en évidence les impacts respectifs de certaines consommations a priori souvent négligées (exemple : les tuyaux en béton). Cela a également permis de mettre en avant les principales limites de l'utilisation de l'empreinte à cette échelle.

Ces travaux ont pu mettre en évidence le fait que l'empreinte écologique permet de :

- synthétiser et d'interpréter les bases de données complexes d'ACV afin de mettre en relation et comparer différents impacts s'exerçant à l'échelle d'une activité,
- motiver et impliquer différents acteurs vers un mode de vie qui serait plus écologiquement durable.

Cependant, l'exercice de calcul d'empreinte à l'échelle "micro" de sous-sytèmes locaux, tels qu'un projet ou une organisation, présente également certaines limites (EL BOUAZZAOUI 2008) :

- La fiabilité des données d'ACV employées est un facteur important de précision pour l'empreinte calculée mais les frontières et hypothèses des ACV ne sont pas toujours clairement précisées. Ainsi, il arrive fréquemment que plusieurs études d'ACV, menées sur le même produit, varient sensiblement de l'une à l'autre, ce qui provoque des variations de résultats de l'empreinte écologique du même produit selon les différentes sources d'ACV. De plus, rares sont les données sur les surfaces au sol occupées par différentes activités humaines de production (extraction de matériaux, leur traitement). De nombreuses données sont aujourd'hui manquantes mais mériteraient d'être mieux suivies (EL BOUAZZAOUI 2008).

- Certains facteurs de conversion, nécessaires pour traduire les différentes consommations d'une activité en empreinte écologique, sont donnés sans aucune indication sur leur niveau d'incertitude (par exemple, les énergies incorporées pour fabriquer les différents matériaux, les facteurs fournis par le GFN tels que facteurs d'équivalence et de rendement). Ce niveau d'imprécision est également rencontré dans plusieurs études d'ACV. I. Elbouazzaoui avait donc, à ce moment là, regretté l'absence de base de données de référence publique (de type base carbone[14] mais intégrant d'autres impacts que le CO_2) et utilisable par tous pour pouvoir comparer différents matériaux et opérations possibles (EL BOUAZZAOUI 2008). Notons dans cette perspective l'initiative intéressante de l'ADEME qui a mis à disposition, depuis le début de l'été 2014, la base Impacts®, disponible gratuitement sur Internet[15].

- Une interrogation plus fondamentale quant à l'intérêt d'utiliser l'empreinte écologique à un niveau "micro" concerne la difficulté de comparer les résultats d'empreinte d'une organisation, d'une activité ou d'un projet à la "biocapacité totale"

[14] http://www.basecarbone.fr/

[15] www.base-impacts.ademe.fr/

disponible par habitant. Si l'empreinte écologique des nations peut être divisée par le nombre d'habitants afin d'estimer une empreinte en hag/hab et de comparer ensuite cette valeur à la biocapacité disponible (en moyenne mondiale ou nationale) par habitant, il est difficile pour une activité plus circonscrite, de ramener l'empreinte écologique à une valeur comparable à la "biocapacité totale". Dans le cas de la généralisation de ce type de calcul, il semble envisageable de comparer les empreintes écologiques de plusieurs projets similaires, ou de plusieurs phases d'un projet (ce qui exige cependant la définition d'un périmètre commun aux différentes études, ce qui n'est pas sans poser de questions). On passe cependant à côté de l'objectif initial de l'empreinte visant à comparer la demande en ressources naturelles à « *l'offre* ».

- Certains impacts ne sont pas pris en compte par la méthode actuelle (toxicité, impact sur l'eau, impact sur faune et flore). Ils semblent ne pas pouvoir être représentés par l'empreinte du fait même de ses différents pré-supposés conceptuels. Si l'empreinte écologique n'a pas vocation à les prendre en compte car elle n'a pas la prétention d'être un indicateur exhaustif sur le plan des différents impacts environnementaux, leur absence de prise en compte dans le cadre d'un indicateur qui se voudrait être un "chapeau" des pressions exercées sur l'environnement pose cependant problème dans l'optique d'une utilisation de l'indicateur pour des activités industrielles qui génèrent des risques importants sur ces thèmes.

Indice synthétique mais pas indicateur unique, l'empreinte écologique doit ainsi être accompagnée dans un tableau de bord par d'autres indicateurs (EL BOUAZZAOUI 2008).

Nous avons également, avec Aurélien Boutaud, approfondi les possibilités d'utilisation de cet indicateur comme outil d'évaluation des politiques publiques, à différents niveaux territoriaux : national (ce qui s'est concrétisé par la publication d'un article scientifique commun dans la revue *International Journal of Sustainable Development* (Boutaud, Gondran & Brodhag 2006) et local (expérimentation avec le Grand Lyon puis dans le cadre d'une opération d'aménagement urbain à Saint-Etienne, pour le compte de l'EPASE (Etablissement Public d'Aménagement de Saint-Etienne).

Parallèlement à ces travaux, l'empreinte écologique est devenue un terme générique qui a fait son entrée en force dans les discours politiques et dans le vocabulaire commun. Nous constations cependant que le terme restait assez vague et abstrait pour la plupart des gens. D'autant plus que si de nombreux articles francophones utilisent les résultats des calculs d'empreinte écologique dans une perspective de vulgarisation ou de sensibilisation, la quasi-totalité des articles méthodologiques et scientifiques sur l'empreinte écologique sont en langue anglaise (Gondran, Boutaud mars 2010). Dès 2005, à la fin de la thèse d'A. Boutaud, nous avons eu pour projet de faire le point, dans un ouvrage francophone, sur les fondements théoriques de cet indicateur afin de rappeler que derrière ce terme et ces chiffres aux vertus pédagogiques, il y a une construction théorique et technique assez complexe, et aussi un certain nombre de difficultés et de limites qu'il ne faut pas omettre. Nous avons donc travaillé ensemble sur un ouvrage qui visait à faire le point sur ces différents aspects : le contexte théorique, les éléments de méthode, les forces, les limites, les lacunes de l'empreinte

écologique. Cet ouvrage est paru en février 2009, dans la collection Repères des éditions La Découverte (Boutaud, Gondran 2009).

Le hasard a fait que ce livre a été publié au moment même où trois députés d'Europe Ecologie Les Verts ont déposé un projet de loi tendant à réduire l'empreinte écologique de la France (Cochet et al. 2009). Suite à ce projet de loi, les services de l'Etat (Tregouet B. (dir.) 2010) et le Conseil Economique Social et Environnemental (Le Clézio 2009) ont été mandatés pour étudier la faisabilité et la pertinence d'un suivi de l'empreinte écologique par l'outil statistique officiel français. Ce livre étant à ce moment-là le premier ouvrage de référence français sur le sujet, A. Boutaud et moi avons été sollicités comme experts par ces instances : participation au comité de pilotage de l'étude menée par le Service de l'Observation et des statistiques du Ministère de l'écologie et du développement durable (Tregouet B. (dir.) 2010) et audition auprès du Conseil Economique Social et Environnemental dans le cadre de l'étude (Le Clézio 2009).

Cet ouvrage nous a ainsi permis d'être identifiés, en France, comme "*experts*" sur le thème de l'empreinte écologique, et d'être ensuite sollicités par plusieurs acteurs souhaitant tester les possibilités d'utilisation de l'empreinte écologique à différentes échelles.

De 2008 à 2011, nous avons travaillé, avec Aurélien Boutaud, pour le Parc National de la Vanoise (PNV). L'objet de la première étude, exploratoire, était d'étudier la faisabilité et la pertinence d'un calcul d'empreinte écologique à l'échelle d'un établissement public tel que le Parc National de la Vanoise. L'essentiel du travail a consisté à recenser les données (en parallèle au travail réalisé pour le calcul du bilan carbone du PNV) et surtout à élaborer un calculateur d'empreinte écologique adapté, puisqu'un tel outil libre de droit n'existait pas. Ce calculateur nous a ensuite permis d'obtenir un résultat d'empreinte écologique pour le PNV concernant l'année 2007, que nous avons ensuite pu analyser dans le détail en faisant ressortir les principaux postes de consommation responsables de l'empreinte écologique du PNV. Ce premier rapport a montré que l'empreinte écologique pouvait tout à fait être utilisée à des fins d'aide à la décision dans le cadre du suivi et de l'évaluation d'une démarche d'éco-responsabilité pour le PNV. Toutefois, une telle ambition nécessitait que certains points soient améliorés : la qualité des données recueillies nous semblait devoir être affinée, certaines hypothèses de calcul devaient être encore développées, l'ergonomie du calculateur devait être revue afin de permettre une plus grande autonomie des futurs utilisateurs, et surtout le travail de diagnostic devait être approfondi et détaillé afin d'identifier avec davantage de rigueur les actions qui pourraient s'avérer les plus efficaces en vue d'une réduction de l'empreinte écologique de l'établissement public du Parc National de la Vanoise. Une deuxième étude, menée en 2010, a ainsi permis de mettre en place un suivi de l'empreinte écologique liée à l'administration du PNV, de 2007 à 2009.

Ces projets ont donné lieu à la rédaction de deux rapports de recherche, au développement d'un calculateur adapté à un parc national, qui a pu faire l'objet d'un référencement IDDN. Ils ont également donné lieu à la publication d'un article scientifique dans une revue internationale anglophone (Gondran 2012).

On en retiendra que le bilan de l'utilisation de l'empreinte écologique s'avère globalement positif eu égard aux objectifs visés : dresser un état des lieux synthétique de l'impact écologique d'une activité, et permettre l'établissement de préconisations et de scénarios s'intégrant dans une stratégie de réduction de l'empreinte écologique. Il faut toutefois souligner que, comme tout indicateur synthétique, le suivi de l'empreinte écologique présente également des limites.

• Le suivi de l'empreinte écologique et du Bilan Carbone® au fil des ans pose tout d'abord des questions d'ordre méthodologique. Normalement, les facteurs de rendement et d'équivalence nécessaires au calcul de l'empreinte écologique évoluent chaque année, en fonction, par exemple, de la productivité constatée chaque année pour les différents types de sols. La productivité annuelle évolue du fait, par exemple, de facteurs climatiques (certaines années sont plus fertiles que d'autres), mais également d'amélioration de la méthode. De même, les facteurs de conversion de la méthode Bilan Carbone® évoluent : amélioration méthodologique mais également prise en compte d'éventuelles modifications dans les procédés industriels produisant les biens consommés. Rigoureusement, sur un plan strictement scientifique, il faudrait actualiser chaque année les coefficients de conversion. Par contre, dans le but d'utiliser l'empreinte écologique comme outil de suivi d'une démarche d'éco-responsabilité, ce choix méthodologique ne semble pas pertinent. En effet, cela signifierait qu'une évolution de l'empreinte écologique pourrait être due soit à la modification du facteur de conversion (par exemple pour une même consommation l'empreinte écologique peut varier en fonction des facteurs de productivité écologique, indépendamment des actions menées ou non par l'organisation étudiée), soit à une variation de la consommation propre à l'organisation étudiée. Dans une optique managériale de suivi des mesures prises, ou non, en interne par le Parc, nous avons décidé de conserver les mêmes facteurs d'une année sur l'autre pour permettre des comparaisons qui ne mesurent que les évolutions liées à l'activité du Parc.

• L'impact (positif ou négatif) des activités de l'organisation étudiée vis-à-vis de la biodiversité n'est pas abordé par l'empreinte écologique. Pour représenter l'évolution au fil des ans de la biodiversité des différentes régions du Monde, le WWF publie par exemple dans ses rapports l'indice Planète Vivante qui « *reflète les modifications de la santé des écosystèmes de la planète en suivant les évolutions des populations d'espèces de mammifères, d'oiseaux, de poissons, de reptiles et d'amphibiens* » (Pollard 2010). Cet indice est basé sur des séries chronologiques relatives à la taille des populations de ces espèces animales, à leur densité, et abondance. Il synthétise des données issues de sources diverses de populations d'espèces issues de différentes sources (revues scientifiques, documents d'ONG ou sites Internet). Contrairement à l'empreinte écologique, il ne s'agit pas d'un indicateur de pression relatif à une population donnée, mais d'un indicateur d'état relatif à un territoire. Par exemple, si le Parc National de la Vanoise souhaitait estimer son « *indice Planète vivante* », le périmètre à étudier cette fois serait bel et bien le territoire protégé et non les flux de matières et d'énergie consommés par les agents du Parc.

• L'empreinte écologique vise à estimer la surface minimale biologiquement productive, de terre et de mer, qu'il faudrait mobiliser pour produire les biens et services consommés par l'organisation étudiée et absorber ces émissions de gaz à effet de serre. Cet indicateur ne vise

donc pas à représenter tous les impacts environnementaux générés par l'activité étudiée. De ce point de vue, on ne saurait trop insister sur la nécessité de compléter le bilan réalisé avec l'empreinte écologique par des indicateurs complémentaires. Par exemple, les consommations d'eau ne sont prises en compte dans l'empreinte écologique qu'à travers les émissions de gaz à effet de serre générées par le traitement et l'adduction. Ce thème des consommations et rejets en eau mérite à lui seul une attention spécifique. D'ailleurs, les rapports présentant des calculs nationaux d'empreinte écologique (Rapports Planète Vivante du WWF, par exemple) accompagnent les résultats d'empreinte écologique par des informations sur les « *empreintes eau* » (« *water footprint* ») des pays étudiés. La notion d'empreinte eau est proche de celle d'empreinte écologique au sens où elle vise à estimer l'ensemble des consommations en eau d'une population donnée, y compris les consommations générées par la fabrication des produits et services consommés (par exemple, la culture de riz et de coton nécessitent de fortes consommations en eau dans les pays producteurs). Trois types « d'eau » sont prises en compte : l'eau dite « bleue » comptabilise les consommations d'eau douce de surface ou souterraine ; l'eau « verte » estime l'eau de pluie mobilisée (évaporée ou introduite dans les produits) ; l'eau grise correspond au volume d'eau propre qui serait nécessaire pour diluer l'eau polluée jusqu'à un niveau de pollution considéré comme « acceptable ».

En ce qui concerne le Parc de la Vanoise, nous n'avons pas pu aller jusqu'à l'estimation de l'empreinte eau des produits et services consommés, mais un suivi des différentes consommations en eau potable des nombreux sites du Parc a été réalisé. Des fichiers de suivi des données de consommations annuelles, et par site, permettent l'extraction de schémas présentant les données de consommation des différents sites pour les postes suivis.

Ces travaux nous ont également permis de mettre en évidence le fait que, y compris dans le cas d'un indicateur biophysique, tel que l'empreinte écologique, appliqué à l'échelle "micro" d'une organisation, la réalisation d'hypothèses et des choix d'experts étaient inéluctables et devaient pouvoir être discutés en toute transparence avec les futurs utilisateurs de l'outil (Gondran 2012).

Suite à ces projets, le PNV a souhaité avoir une ouverture sur l'estimation de l'empreinte écologique du territoire de la Vanoise, cette fois, dans le cadre du diagnostic des émissions de gaz à effet de serre de son territoire. L'objectif était alors d'avoir une vision globale des émissions de gaz à effet de serre, incluant non seulement les émissions directes du territoire, mais également les émissions indirectes liées aux consommations de biens et services effectuées sur le territoire. Cependant, il était difficile d'obtenir des données homogènes de consommations des ménages sur un tel territoire. Nous avons alors travaillé avec le bureau d'études INDDIGO sur ce projet pour étendre la méthodologie « Bilan Carbone » à l'estimation des émissions indirectes liées aux consommations effectuées sur le territoire (résidents et touristes).

3.2.8.2 … aux estimations d'empreinte écologique à l'échelle de territoires infranationaux

Dans la continuité des travaux précédents, deux études successives ont été réalisées, toujours en partenariat avec Aurélien Boutaud, mais cette fois pour le compte du groupe de travail « *indicateurs vers le développement durable* » de l'Association des Régions Françaises. Ces projets ont été financés par la Région Nord Pas de Calais qui est en avance sur la question des indicateurs alternatifs au PIB. La première étude a consisté à faire un état des lieux des différentes méthodes pouvant être mobilisées pour estimer l'empreinte écologique à l'échelle des régions françaises.

La seconde étude a permis de réaliser le calcul de l'empreinte écologique des huit Zones d'Etudes et d'Aménagement du Territoire métropolitain (ZEAT) de la France, en utilisant les matrices de la France fournies par le GFN pour l'année 2008, ainsi que les données statistiques de consommation finale des ménages. Nous présentons brièvement ci-après la méthode que nous avons mobilisée à cette fin.

A partir des années 2010, les approches dites par composantes, présentées plus haut, ont été progressivement abandonnées pour les estimations d'empreinte pour les territoires infranationaux. Ceci est lié à différentes raisons : tous les biens et services consommés ne peuvent être comptabilisés de manière exhaustive, risques de double-comptage, manque d'homogénéité dans les données, difficultés pour collecter les données sur les bilans nets de flux de matière et d'énergie et les calculs restent imprécis, car on ne connaît pas exactement l'empreinte écologique liée à la fabrication et à l'acheminement de chaque item consommé par une population donnée.

L'approche la plus généralement utilisée aujourd'hui pour les calculs infranationaux est l'approche dite composée qui vise à dériver l'empreinte du territoire étudié au prorata des consommations finales effectuées sur le territoire. Le point de départ de cette approche est la matrice nationale d'utilisation des sols pour les consommations (MUSC) qui est aujourd'hui calculée par le GFN pour les différents postes de consommation.

Les résultats des comptes nationaux d'empreinte écologique ne fournissent classiquement qu'une seule donnée, par pays, pour chaque types de sols (cultivables, pâturages, etc.), limitant ainsi les possibilités d'utilisation des comptes à fins décisionnelles. Afin d'étendre les possibilités d'analyse de l'empreinte d'un pays, le GFN a développé une méthode permettant d'affecter l'empreinte écologique d'un pays aux différents postes de consommation de ce pays. Cette méthode permet la réalisation d'une matrice d'utilisation des sols pour la consommation qui peut être organisée soit selon la nomenclature propre au GFN (Consumption Land Used Matrix – CLUM), soit selon la nomenclature internationale COICOP (Classification of Individual Consumption by Purpose) (matrice CoLUM).

Les résultats fournis par les comptes nationaux sont alloués à différents secteurs de consommation grâce à un modèle multirégional entrées-sorties étendu aux impacts environnementaux. Ce modèle est basé sur les données publiées par l'Université de Purdue

dans le cadre du projet GTAP (Global Trade Analysis Project)[16], qui fournit des informations sur les échanges commerciaux entre 57 secteurs industriels[17], 113 régions du Monde et 3 types de demande finale (les consommations des ménages, la formation brute de capital fixe et les dépenses publiques). Pour allouer l'empreinte selon les différents types de sols, dans le cadre du modèle multirégional entrées-sorties étendu aux impacts environnementaux, le GFN utilise les échanges entre secteurs industriels répertoriés par les bases de données GTAP, mais pour certains secteurs responsables d'émissions directes (chauffage des logements et transports), des données d'émissions directes sont réintégrées dans les matrices afin de corriger les données économiques par des données physiques lorsqu'elles sont disponibles. Les données des autres secteurs industriels sont ensuite corrigées suite à la correction des postes d'émissions directes (afin de conserver les bonnes sommes d'émissions).

Afin d'estimer l'empreinte écologique d'un territoire français à partir de la MUSC nationale, fournie par le GFN, il faut ajuster les données moyennes de consommation finale des ménages de la France en fonction des consommations, pour chaque poste de consommation, moyennes constatées dans le territoire étudié. Trois types de données sont principalement utilisables à cette fin :

- Les données monétaires issues de l'enquête budget des familles (disponible à l'échelle de 8 zones d'études et d'aménagement du territoire),
- Le nombre moyen d'individus par ménage,
- Des données non monétaires afin d'affiner certains postes de consommations "clés" (émissions de gaz à effet de serre pour l'habitat ou les transports, par exemple).

Cette méthode permet d'obtenir des résultats comparables aux standards internationaux, puisqu'elle s'appuie directement sur les matrices mises au point par le *Global Footprint Network*, qui sont aujourd'hui utilisées dans la plupart des publications internationales. En outre, elle permet d'opérer une régionalisation du calcul, par ajustement de l'empreinte écologique moyenne de la France, en utilisant des données de consommation finale homogènes produites localement par l'INSEE (complétées lorsque possible et nécessaire par des données physiques plus précises).

Cette méthode peut également être mobilisée pour estimer l'empreinte écologique de groupes sociaux (pas forcément territoriaux) dont les spécificités en termes de consommation finale sont connues statistiquement : différentes catégories socioprofessionnelles, types de ménages, classes de revenus, etc. Nous menons actuellement des travaux sur ce thème dans la perspective d'étudier les différents déterminants de l'empreinte écologique d'un Français, en vue d'une publication dans une revue internationale.

---

[16] https://www.gtap.agecon.purdue.edu/

[17] Listés sur https://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/v8/v8_sectors.asp

Tableau 14. Synthèse des projets financés par des partenaires extérieurs, sur le thème de l'empreinte écologique

Intitulé du projet de recherche	Partenaires du projet	Période du projet	Montant financier du projet (HT)
Expérimentation de l'utilisation de l'empreinte écologique dans le cadre d'un projet de renouvellement urbain	Projet effectué en partenariat avec Empreinte Ecologique SARL et Aurélien Boutaud Conseil, pour le compte de l'EPASE	2006 - 2007	8 000 €
Ce projet visait à estimer l'empreinte écologique, et identifier les bonnes pratiques, des habitants d'un quartier de Saint-Etienne concerné par un projet d'aménagement urbain. Il a conduit au rapport (Gondran et al., 2007)			
Evaluation de l'empreinte écologique de l'administration du Parc National de la Vanoise	Partenariats avec le Parc National de la Vanoise et Aurélien Boutaud Conseil	2008 à 2010	22 000 €
Evaluation de l'empreinte carbone de l'aire optimale d'adhésion du Parc National de la Vanoise	Partenariat avec INDDIGO	2011	5 300 €
Ce partenariat avec le Parc National de la Vanoise a permis l'élaboration d'un calculateur d'empreinte écologique à l'échelle d'une administration. Il a conduit au référencement IDDN [1] auprès de l'Agence de Protection des Programmes Il a également conduit à une publication scientifique dans une revue internationale à comité de lecture (facteur d'impact 3,058) (Gondran 2012) Ce projet a conduit à la rédaction de deux rapports scientifiques : (Gondran N., Boutaud A., 2009) et (Gondran N., Boutaud A., 2011)			
Etude de faisabilité du calcul de l'empreinte écologique à l'échelle des Régions françaises	Partenariats avec Aurélien Boutaud Conseil pour le compte de l'Association des régions de France	2011	8 400 €
Cette recherche a permis de faire un état des lieux des méthodes actuelles de calculs de l'empreinte écologique à l'échelle infranationale, en Europe, et d'étudier les conditions d'effectuer un tel calcul à l'échelle des régions françaises. Elle a donné lieu au rapport (Boutaud, Gondran, 2011)			
Calcul d'un indicateur de soutenabilité environnementale à une échelle infranationale	Partenariat avec Aurélien Boutaud Conseil pour le compte de la Région Nord Pas de Calais	2013	14 990 €
Ce projet a permis d'estimer l'empreinte écologique des 8 Zones d'étude et d'aménagement du territoire, en France.			
Formation / Accompagnement pour le développement d'un outil de calcul d'empreinte écologique à l'échelle d'une entreprise	Goodwill Management	2014	1400 €

En dépit du projet de loi proposé par Y. Cochet et ses collègues, évoqué plus haut (Cochet et al. 2009), l'empreinte écologique n'est pas aujourd'hui considérée comme un indicateur officiel en France. Nous avons clarifié certaines de ces limites ci-dessus. Nous pensons cependant que d'autres freins, peut-être plus idéologiques, s'opposent au développement de cet indicateur en France. A l'occasion des discussions générées au sein du comité de pilotage de l'étude du SOeS (Tregouet B. (dir.) 2010), un éminent spécialiste de la comptabilité nationale, membre du comité de pilotage (pourtant plutôt positionné contre l'empreinte écologique), avait suggéré que, finalement, un des principaux points de blocage au développement de cet indicateur était que ces résultats faisaient peur et remettaient profondément en cause la "vision du monde" portée jusqu'alors par l'outil statistique français.

Des évolutions conceptuelles se font pourtant ressentir dans cette comptabilité nationale. Par exemple, un des principes de base est que l'empreinte écologique d'une nation est relative à sa consommation finale et non à sa production. L'intérêt de ce principe est, depuis les discussions autour de l'empreinte écologique en 2009, reconnu dans la comptabilité nationale. En effet, l'empreinte carbone, reposant sur le même principe de la responsabilité du consommateur mais qui ne porte que sur les émissions de gaz à effet de serre, est aujourd'hui officiellement suivie par le service de l'Observatoire de l'Environnement et des Statistiques du ministère en charge du Développement durable (Pasquier 2010). L'empreinte carbone représente ainsi la quantité de gaz à effet de serre (GES) émise pour répondre à la consommation française, incluant les émissions liées aux importations. En 2007, par exemple, l'empreinte carbone par Français était de l'ordre de 12 tonnes équivalent CO2 par an, contre 8 tonnes pour les GES émis sur le territoire métropolitain. De 1990 à 2007, l'empreinte carbone par personne a augmenté de 5 %, alors que le niveau moyen par personne des émissions sur le territoire diminuait de 15 %. Au cours de cette période, les émissions associées aux importations se sont accrues de 64 % pour atteindre près de la moitié de l'empreinte carbone de la consommation en France en 2007 (Pasquier 2010).

L'empreinte écologique a la spécificité d'être le premier indicateur qui a pour vocation de comparer la pression exercée par les sociétés sur les ressources biologiques aux capacités de production des surfaces terrestres. Il s'agit ainsi d'un indice synthétique, bénéficiant d'une aura médiatique certaine ainsi que d'une bonne efficacité communicationnelle. Basé, dans la mesure du possible, sur des données physiques, ce qui constitue un complément indispensable aux indicateurs monétaires, il a également ouvert la voie aux indicateurs de type "empreinte" (maintenant, il existe l'empreinte carbone, l'empreinte eau, etc.) qui imputent l'impact des produits à leurs consommateurs finaux.

Ses résultats au niveau national montrent que, depuis la fin des années 1980, les modes de vie liés à une minorité de la population mondiale conduisent à un dépassement des capacités de renouvellement des ressources biologiques et d'assimilation du CO2 par la biosphère. Evidemment, cet indicateur ne prétend pas être considéré comme indicateur unique de durabilité écologique, mais en introduisant la notion de seuil de durabilité écologique, il propose un nouveau paradigme pour évaluer les pressions exercées par les sociétés (Gondran 2013).

Evidemment, comme tout indicateur, l'empreinte écologique est basée sur des conventions et hypothèses de calcul. Ces conventions, hypothèses et méthodes de calcul sont d'ailleurs susceptibles d'évoluer dans le temps car il ne s'agit pas (encore ?) d'un indicateur complètement stabilisé et officiellement reconnu par les institutions internationales. Il fait ainsi l'objet, chaque année, de nombreuses publications scientifiques visant à proposer des évolutions méthodologiques. Cet indice ne prétend pas être exhaustif quant à l'ensemble des questions écologiques. Dans une optique d'aide à la décision et de choix entre différents scénarios, par exemple, il doit donc être utilisé en complément de batteries plus complètes d'indicateurs plus précis et non agrégés auxquelles il ne prétend pas se substituer. Ainsi, comme tout indicateur, l'empreinte écologique doit être utilisée avec des précautions d'usage afin de ne pas lui attribuer de fausses interprétations et conclusions.

Nous nous proposerons, dans les perspectives de recherche évoquées plus loin dans ce rapport, d'envisager en quoi ce changement de paradigme pourrait s'appliquer à d'autres thèmes environnementaux qui présentent également des seuils d'irréversibilité et des limites biophysiques.

3.2.9 Récapitulatif sur les méthodes d'évaluation développées dans le cadre des thèses co-encadrées

Il est difficile de résumer en quelques lignes ce que nous a apporté chaque thèse suivie. J'ai l'habitude de dire aux candidats potentiels qu'une thèse est une aventure humaine unique, qui implique la volonté de travailler, de façon approfondie, sur un seul sujet pendant trois ans. La relation entre le doctorant et ses encadrants est également une aventure humaine et une rencontre particulière. Tout d'abord, je préfère « *suivre* » une thèse que « *l'encadrer* », et encore moins la « *diriger* », car je pense que le doctorant doit être, et se considérer, comme le « *chef de projet* » de sa thèse. Si l'encadrant est là pour donner les grandes orientations du projet en termes de sujet, de littérature et de méthodologie, c'est au doctorant de construire et s'approprier son projet ainsi que d'en dresser les limites. Selon moi, la relation doctorant/encadrant ne peut donc être basée ni sur un rapport hiérarchique ni sur un rapport de type « *maître à élève* ». Au contraire, je la considère comme réussie lorsqu'elle génère un apprentissage réciproque et un échange de connaissances et savoirs, mais aussi, et peut-être surtout, de questionnements et doutes. Cette vision peut ne pas être partagée. Comme toute relation humaine, elle n'est jamais parfaite et comporte toujours des moments difficiles et de tensions. Cependant, même s'ils sont difficilement formalisables, je pense que ces apports humains sont au moins tout aussi importants, tant pour le doctorant que pour ses encadrants, que les apports scientifiques de chaque thèse.

Ceci étant dit, nous essayons ci-dessous de synthétiser les principaux apports scientifiques des différentes thèses que nous avons suivies, et de voir en quoi elles ont contribué à préciser notre objectif de recherche concernant l'évaluation et la représentation des enjeux environnementaux dans une optique de transitions écologiques et énergétiques.

Les premiers travaux de thèse que nous avons suivis nous ont permis de préciser notre positionnement au sein de la vaste problématique de l'évaluation de la durabilité. Basés sur un important corpus théorique, les travaux d'**Aurélien Boutaud** ont posé des bases conceptuelles solides qui ont permis de retracer l'émergence de la notion de développement durable au prisme des théories de la négociation et de préciser les problématiques liées à l'évaluation de la durabilité. Ces travaux ont mis en évidence le fait qu'un système d'évaluation doit viser un double objectif :

- Etre efficace en termes pédagogiques et de communication,
- Mettre en évidence les tensions inexorables existant entre les différents enjeux du développement durable, et en particulier entre développement humain et préservation des ressources naturelles, deux enjeux non substituables entre eux et donc non commensurables.

Ainsi, **A. Boutaud** a eu l'idée de croiser empreinte écologique et indice de développement humain (Boutaud 2003). Ce schéma a depuis été maintes fois repris dans la littérature nationale et internationale, y compris par des documents publiés par le programme des Nations Unies pour le Développement. Il a également étudié une trentaine d'outils de questionnement et d'analyse du développement durable (OQADD) développés au sein de collectivités territoriales. Ces outils (Boutaud 2003)apparaissent comme un moyen d'appropriation du développement durable par les collectivités locales (ou au moins par les personnes créant ou utilisant les OQADD) afin de le rendre plus concret et pragmatique (Boutaud 2005). Il s'agit aussi potentiellement d'un outil permettant de susciter un débat et de nouveaux réflexes en termes de transversalité. Cependant, des blocages administratifs et politiques viennent souvent s'opposer à une large utilisation de ces outils qui restent ainsi souvent dans les sphères techniques (Boutaud 2005).

Nathalie Lourdel a, quant à elle, mis en évidence le lien entre évaluation, apprentissage et représentations du développement durable. Afin de représenter les idées retenues et les interactions perçues par des apprenants, elle a développé et expérimenté l'utilisation de cartes cognitives (Lourdel 2005).

Avec **Karen Delchet,** nous avons développé et expérimenté une des premières méthodes qualitatives, en France, d'évaluation de l'appropriation du développement durable par les PME. Cette expérimentation a montré l'importance de hiérarchiser les enjeux en termes de développement durable, pour une organisation donnée (Delchet 2006).

Adrien Ponrouch s'est basé sur la méthode que nous avons proposée avec K. Delchet pour l'adapter et l'expérimenter dans le contexte des collectivités locales. Il a ainsi défini trois champs de gestion des enjeux du développement durable par les collectivités locales : la gestion interne, le champ institutionnel (compétences et politiques) et la coordination stratégique territoriale (Ponrouch 2008).

Ces quatre premières thèses que j'ai co-encadrées étaient dirigées par Christian Brodhag.

Les travaux de thèse d'**Ibtissam El Bouazzaoui** ont permis de développer et expérimenter une méthode d'estimation de l'empreinte écologique pour un projet d'aménagement du territoire (EL BOUAZZAOUI 2008). Il s'agissait de la première thèse pour laquelle j'ai défini

moi-même le sujet. Le directeur de recherche, avec lequel je l'ai co-encadrée, était Jacques Bourgois.

Trois sujets de thèse se sont plus directement inspirés de la méthodologie d'analyse de cycle de vie. Dans le cadre d'un important travail de terrain avec des designers et des entreprises, **Gaël Guilloux** s'est basé sur la méthodologie simplifiée de l'ACV pour proposer une méthode permettant de mieux associer au sein de projets de conception de produits les aspects environnementaux et ceux liés aux usagers finaux (Guilloux 2009). Cette thèse a été réalisée en cotutelle avec l'Université Polytechnique de Valencia. Les directeurs de recherche, avec lesquels je l'ai co-encadrée, étaient Salvador Capuz Rizo (UP de Valencia) et Christian Brodhag. Elle a obtenu le label européen.

Valentine Moreau s'est également inspirée de la méthodologie d'analyse de cycle de vie pour proposer une méthode permettant une évaluation environnementale locale et planétaire des équipements informatiques d'une entreprise de grande distribution, objet situé à l'intersection entre le site industriel et l'activité de service (Moreau 2012).

Samuel Le Féon a suivi la méthodologie d'analyse de cycle de vie de façon plus complète et conventionnelle que les deux travaux précédemment cités, qui s'en étaient inspirés pour proposer une méthode simplifiée, mais en l'appliquant à un objet original : les différents besoins de mobilité urbaine d'aires urbaines (Le Féon 2014)**.**

En 2009, avec la montée des préoccupations énergétiques et leurs interactions avec les préoccupations environnementales, j'ai souhaité orienter plus particulièrement un sujet de thèse sur la question énergétique, avec une application au secteur du bâtiment afin de permettre à notre équipe de monter en compétences sur ce sujet sur lequel nous étions régulièrement sollicités par des étudiants souhaitant s'orienter professionnellement vers ce domaine porteur en termes d'emplois. Ainsi, **Jonathan Villot** a pu étudier les interactions entre les acteurs humains en vue de l'atteinte de l'objectif de réduction d'un facteur 4 des émissions de gaz à effet de serre et des consommations énergétiques sur un projet de rénovation d'un bâtiment (Villot 2012)**.**

Les thèses de V. Moreau, J. Villot et S. Le Féon ont été co-encadrées avec Valérie Laforest, directrice de thèse.

Sollicités par le service environnement de CASINO avec qui nous avions déjà collaboré dans le cadre de stages sur le bilan carbone du groupe, nous avons obtenu le financement d'une thèse CIFRE visant à développer une méthodologie d'évaluation en termes de RSE des initiatives environnementales proposées au sein du groupe CASINO. Cette thèse, dirigée par Patrick Burlat, présente la spécificité de relever de la spécialité « *Génie industriel* » de l'école doctorale Sciences Ingénierie Santé, et non de la spécialité « *Sciences et Génie de l'environnement* » comme les autres thèses co-encadrées. **Sandrine Dumoulinneuf** a ainsi proposé une démarche d'évaluation a priori, qualitative et quantitative, des impacts sociaux et environnementaux, structurée autour des domaines d'actions listés par la norme ISO 26 000. Ces travaux se sont inspirés des méthodes d'analyse multicritère et de l'analyse de cycle de vie afin de proposer une démarche d'évaluation la plus objective possible en dépit de la multitude de parties prenantes, de points de vue, et d'enjeux parfois difficilement

quantifiables et évolutifs dans le temps. Elle a également proposé des pistes méthodologiques afin d'estimer les incertitudes associées à l'évaluation (Dumoulinneuf 2014).

Ces différents travaux, et en particulier ceux réalisés en partenariat avec des acteurs décisionnels, soulèvent régulièrement le dilemme, entre d'un côté, la volonté des décideurs finaux d'avoir un résultat d'évaluation simple, présenté selon le moins de dimensions possibles, et d'un autre côté, la volonté du chercheur de mettre en évidence les différentes dimensions incommensurables d'une situation évaluée donnée. Nous pensons qu'il n'y a pas de réponse unique, de méthode parfaite pour résoudre ce dilemme. Nous revendiquons une dimension pédagogique au fait de confronter nos différents partenaires de recherche à ce dilemme d'incommensurabilité, et, par là-même, à leurs responsabilités, en tant que décideurs, de choisir en toute conscience, information et transparence, les dimensions qu'ils privilégient. Selon nous, ce n'est pas à l'expert d'effectuer ce choix, et encore moins de le masquer sous des formules et méthodologies complexes.

Tableau 15. Récapitulatif des thèses soutenues selon l'objet de la recherche

	Organisations territoriales / collectivités locales	**Entreprises**	**Objet plus spécifique**
Réflexions sur la définition des notions de durabilité et d'évaluation	**(Boutaud, 2005)** : Grand Lyon, communauté d'agglomération		**(Lourdel, 2005)** : (pédagogie)
Outils d'évaluation qualitative à base d'indicateurs	**(Ponrouch, 2008)** : Conseils généraux	**(Delchet, 2006)** : PME	
Focus spécifique sur les questions énergétiques			**(Villot, 2012)** : Bâtiments, logements sociaux
Corpus d'indicateurs généraux / Approche quantitative multicritère		**(Dumoulinneuf, 2014) :** grande distribution	
Outils basés sur les méthodologies de type ACV	**(Le Féon, 2014)** : mobilité urbaine	**(Guilloux, 2009)** : design (**Moreau, 2012)** : équipements informatiques	
Empreinte écologique		**(El Bouazzaoui, 2008)** : chantier routier	

3.3 Les limites de la recherche sur l'évaluation environnementale

Et moi, je possède les étoiles, puisque jamais personne avant moi n'a songé à les posséder.
Ça c'est vrai, dit le Petit prince. Et qu'en fais-tu ?
Je les gère. Je les compte et je les recompte, dit le businessman. C'est difficile, mais je suis un homme sérieux.
Antoine de Saint-Exupéry. *Le Petit Prince*. 1943

La description de nos travaux de recherche dans le domaine de l'évaluation environnementale doit s'accompagner d'une prise de recul sur les limites de l'évaluation, et plus particulièrement de l'évaluation environnementale. En effet, l'évaluation ne doit pas être considérée comme une fin en soi, mais comme un outil au service d'une perspective de transition vers une meilleure durabilité écologique.

Le lien entre l'outil technique, générant les pressions environnementales étudiées (outil de production d'une entreprise, flotte de véhicules d'une organisation, par exemple) et ses usagers est sous-jacent à l'ensemble de nos recherches. Ce thème a plus particulièrement été au cœur de deux sujets de thèse : G. Guilloux a en effet étudié le lien entre l'objet écoconçu et ses futurs utilisateurs (Guilloux 2009), tandis que J. Villot s'est plus particulièrement penché sur le lien entre le bâtiment et ses occupants (Villot 2012).

Nous pensons que le lien entre l'outil technique d'évaluation environnementale que nous développons et son usager (le décideur supposé en utiliser les résultats) mériterait également une attention que nous n'avons pas encore approfondie dans le cadre de nos recherches passées. Nous n'avons en effet pas les compétences pour étudier la question (dont commencent aujourd'hui à s'emparer sociologues et sciences de la gestion) de la représentation des mesures et des résultats des évaluations ainsi que la place de l'évaluation environnementale au sein de la décision. De tels travaux pourraient avoir pour objectif de prendre du recul sur les outils que nous avons proposés jusqu'à présent, ainsi que d'autres outils d'évaluation des pressions sur l'environnement, afin d'étudier le rôle de ces outils en termes de changement de vision, représentations et comportements des acteurs concernés. Il nous semble que ce sujet nécessite une approche pluridisciplinaire, associant des sociologues, voire des psychologues, plutôt qu'une démarche interdisciplinaire telle que nous avons menée jusqu'alors.

3.3.1 Un équilibre à trouver entre approche normative et approche évaluative, voire constructiviste

L'évaluation est une posture délicate pour le chercheur, qui se positionne à la frontière entre l'approche scientifique et celle de l'expert. En particulier, l'élaboration de systèmes d'indicateurs pour le développement durable génère une tension entre approche normative versus évaluative, voire constructiviste. L'approche normative permet de fixer des objectifs précis, pouvant éventuellement être basés sur des seuils écologiques, économiques ou

sociaux au-delà desquels la durabilité ne serait plus assurée (Nicolas 2013). Si cette approche permet la prise en compte de limites exogènes, imposées par le caractère fini des ressources naturelles, elle est souvent peu propice à l'ouverture d'un débat public ainsi qu'à une bonne appropriation et reconnaissance de légitimité de la part des différents acteurs concernés. Par opposition, l'approche évaluative mesure les trajectoires du développement, n'imposant pas de norme absolue à atteindre mais apportant une réflexion sur les moyens et chemins du changement (Nicolas 2013). Cette approche permet ainsi la confrontation des différentes sensibilités, mais elle risque de « *présenter des difficultés opérationnelles pouvant aboutir à l'inaction* » (Nicolas 2013).

Au cours de nos travaux de recherche, nous avons eu la chance de côtoyer plusieurs chercheurs, collègues et doctorant/es, issus de formations et disciplines variées. Ainsi, des va-et –vient fréquents ont pu être effectués entre,

- d'un côté, des approches de type ingénieur, privilégiant plutôt l'approche normative, visant à proposer des outils, des méthodes, voire des solutions innovants pour répondre à des questions déjà formulées, sans remettre en cause les objectifs fixés par les acteurs à l'origine du projet,
- d'un autre côté, et en particulier dans le cadre des échanges dans le cadre de l'UMR 5600 EVS, une approche plus évaluative, orientée vers les sciences humaines qui vise à reformuler les questions, privilégier l'observation, l'analyse des problèmes afin d'interroger le problème plutôt que d'y apporter une solution.

Nous pensons que, dans le cadre de l'évaluation environnementale, ces deux approches sont nécessaires et complémentaires. En effet, nous reposons nos travaux sur l'hypothèse qu'il existe des « seuils » écologiques qui imposent des contraintes exogènes au développement humain. Il nous semble donc nécessaire que l'évaluation environnementale soit basée sur un cadre de réflexion et des objectifs permettant de refléter les seuils et limites écologiques. Cependant, nous sommes bien conscients de la nécessité, pour les acteurs en présence, de s'approprier ces objectifs, voire de choisir colllectivement les valeurs et objectifs à privilégier dans l'optique de respecter les limites écologiques. Dit autrement, nous pensons que l'approche normative est indispensable, mais que ce n'est pas au chercheur de définir le cadre, et les objectifs à atteindre. Une réflexion collective, impliquant les différents acteurs de la société, nous semble souhaitable pour définir ensemble le cadre et les limites écologiques que nous nous donnons… Force est de constater qu'un tel débat serait très ambitieux et n'est pas à l'ordre du jour des agendas politiques, écologiques voire citoyens… En son absence, la communauté scientifique se voit donc contrainte de palier à cette absence de réflexion collective en proposant elle-même le cadre normatif : liste d'indicateurs à évaluer, définition des objectifs à atteindre, etc. Se faisant, elle dépasse probablement son rôle. On peut presque dire que sa légitimité à définir ce cadre provient d'un « vide juridique », voire sociétal, lié à l'absence de prise en charge par les autres acteurs de la société de s'emparer de la définition de ce cadre. Nous ne remettons pas en cause cette légitimité : faute d'une réflexion associant un nombre plus large d'acteurs, les cadres d'évaluation environnementale mis en place par la communauté scientifique ont, au moins le mérite d'exister et, au mieux, l'avantage d'être basés sur des connaissances scientifiques ! Cependant, nous pensons souhaitable que la communauté scientifique s'interroge sur son rôle, et ses éventuels parti-pris, dans

l'établissement de ce cadre. D'autre part, nous pensons également de notre devoir, en tant que scientifique travaillant sur l'évaluation environnementale, d'exercer une mission de sensibilisation des différents acteurs et du « grand public » à ces questions afin d'encourager la société à s'emparer de ces sujets.

Ainsi, tout au long de nos travaux, nous "naviguons", en essayant de trouver un équilibre, entre une approche « *normative* », visant à concevoir et proposer des outils, basés sur l'étude des flux matériels, aux différents acteurs et une approche évaluative, visant, par exemple au travers d'enquêtes (méthode de type audit patrimonial d'Henry Ollagnon (OLLAGNON, de MONTBEL & VIEL 1998), par exemple) à essayer de mieux cerner et représenter les avis des différents acteurs. Dans certains cas, ces deux approches ont été combinées (thèse de Jonathan Villot, ou projet avec la SAUR, par exemple, où les enquêtes ont permis de définir les coefficients de pondération des différents indicateurs pris en compte par l'évaluation, par exemple). Dans d'autres cas, différentes démarches ont pu se succéder sur un même objet, dans le cadre de projets successifs, afin d'en retirer une vision plus globale (projets en lien avec la ZA de Molina La Chazotte, par exemple).

Dans le cadre de nos enseignements, nous essayons de développer des approches relevant de l'approche constructiviste, selon laquelle, « *l'individu apprend mieux s'il construit activement ses connaissances*" (Vu Minh, Milgrom 2007). Nous n'avons pas encore réellement expérimenté la mise en place d'approche constructiviste dans le cadre de nos recherches, mais nous en constatons l'intérêt sur le plan pédagogique dans le cadre de nos enseignements et nous pensons qu'il pourrait être intéressant, à terme, de mettre en place des démarches d'expérimentation et d'élaboration de méthodes d'évaluation basées sur les principes du constructivisme. Pour mettre en place de telles démarches, il semble nécessaire de passer d'une approche substantielle, dans laquelle la construction de la méthode d'évaluation est laissée à un groupe réduit d'expert (Nicolas 2013) et où se positionnent plutôt nos travaux passés, à une approche procédurale qui laisse au contraire la place à une large concertation visant à permettre aux acteurs impliqués de présenter leurs préoccupations et les traduire en termes d'indicateurs (Nicolas 2013).

3.3.2 Dilemme de la précision scientifique versus la simplification souhaitée par les décideurs

Un autre dilemme auquel nous sommes régulièrement confrontés sur le thème de l'évaluation environnementale est le compromis à trouver entre la rigueur scientifique (qui tend généralement à proposer des batteries d'indicateurs complexes et non agrégés) et le souhait des décideurs de recevoir un message clair, facilement compréhensible et interprétable en termes d'aide à la décision.

Pour décrire ce dilemme, la pyramide de l'information ci-dessous est souvent représentée (Braat (1991), Levarlet (1999), cités par (Nicolas 2013).

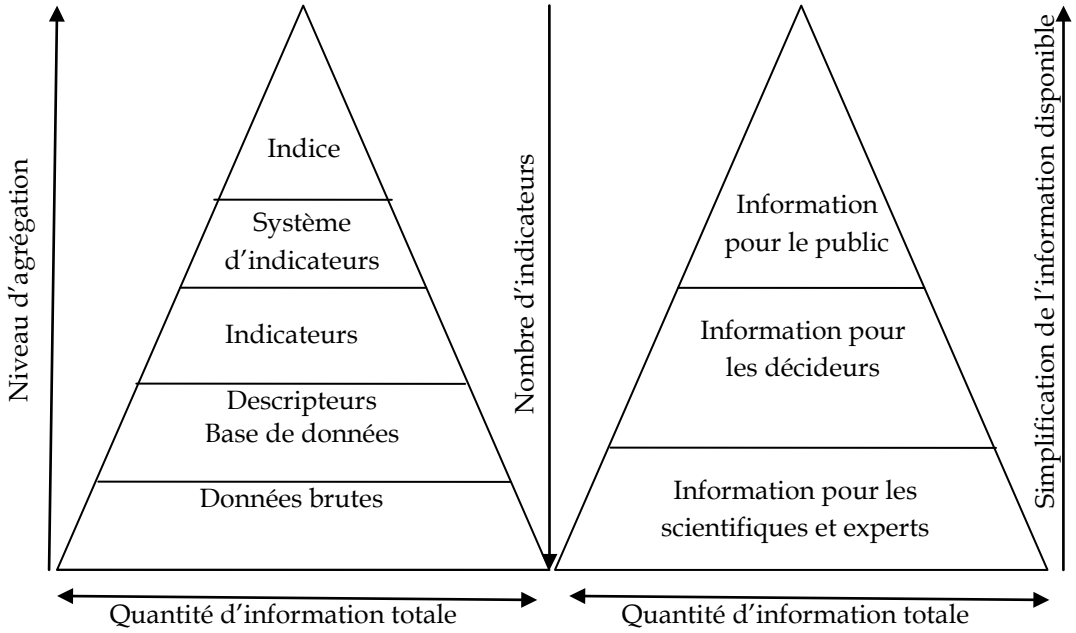


Figure 35. La pyramide de l'information ((Nicolas 2013) **citant Levarlet (1999) d'après Braat (1991))**

Les systèmes d'indicateurs visent à « *simplifier les données du monde réel pour en donner une mesure accessible à un public visé* » (Nicolas 2013). Ils sont ainsi « *le produit d'un compromis permanent entre une exigence scientifique et les besoins d'un processus décisionnel demandeur d'informations exploitables* » (Nicolas 2013). Plus la quantité d'information est agrégée, plus elle est supposée être accessible au plus grand nombre.

Cependant, l'agrégation suppose la commensurabilité, et repose donc sur l'hypothèse de substituabilité. Si l'on suppose que les différents enjeux environnementaux ne peuvent être mesurés dans des unités commensurables et si l'on considère, de surcroît, les dimensions sociales et sociétales, il semble scientifiquement non fondé de mettre sur le même plan des enjeux a priori incommensurables. Cependant, si, au niveau scientifique, nous reconnaissons que les différentes dimensions de la durabilité sont incommensurables, nous comprenons que des décideurs, qu'ils soient publics ou privés, souhaitent qu'on leur délivre des messages clairs et non ambigus. En effet, ces derniers sont très souvent amenés à prendre des décisions rapidement, voire dans des situations d'urgence. Ils sont souvent peu formés aux subtilités des questions environnementales et de durabilité, qui viennent généralement s'ajouter à d'autres préoccupations (généralement d'ordre économique et de court terme !). Ils peuvent parfois être sensibles à la prise en compte de nouveaux critères de décisions. Cependant, si on leur présente un grand nombre d'indicateurs alternatifs, dont certains sont contradictoires en termes d'aide à la décision, il est alors tentant pour eux de rejeter d'un bloc les nouveaux éléments de décision sous couvert d'une trop grande complexité. Les décideurs souhaitent ainsi souvent réduire les dimensions des indicateurs supplémentaires à prendre en compte. Renvoyant ainsi, bien souvent, le scientifique au rôle d'expert en lui demandant de hiérarchiser, agréger, ou simplifier les résultats. Ce phénomène contribue

fortement au succès de la monétarisation des impacts ((Milanesi 2010), (Gadrey 22 avril 2011)). Le « *rapport Stern* » est une bonne illustration de cela : en venant chiffrer le coût de l'inaction face aux dérèglements climatiques (Stern 2006), cet économiste a vraisemblablement contribué à une prise de conscience réelle de cette préoccupation par des communautés (milieux économiques, financiers et politiques) qui la négligeaient jusqu'alors.

Comme nous l'avons expliqué dans ce mémoire, nous évitons a priori de nous engager dans des démarches de monétarisation des impacts. Ce problème de l'appropriation des résultats de nos évaluations, à travers un compromis difficile à trouver entre simplification et rigueur scientifique ne nous paraît cependant pas résolu actuellement. Il présente donc d'intéressantes opportunités de recherche, ici aussi pluridisciplinaires. A cette fin, il nous semblerait pertinent, par exemple, d'étudier les modèles d'évaluation environnementale existant et leurs résultats sur différentes situations données afin d'en dégager un apprentissage quant aux indicateurs les plus représentatifs de l'ensemble des indicateurs environnementaux, et ceux qui présentent des spécificités en termes de résultats. Il s'agirait alors de proposer des modèles simplifiés, mais non simplistes, d'évaluation reposant sur un nombre limité d'indicateurs, mais dont on sait qu'ils sont représentatifs des résultats qui seraient obtenus avec d'autres indicateurs. Par ailleurs, il nous semble intéressant d'étudier la façon dont les résultats des évaluations environnementales sont reçus, perçus et pris en compte, ou non, par les décideurs concernés. Ces projets de recherche pourraient associer des chercheurs issus de disciplines diverses telles que sciences des mathématiques, de la communication, sociologues, voire psychologues ou designers.

3.3.3 Les limites de l'évaluation environnementale

En 1996, une trentaine de spécialistes de l'évaluation de différentes nations se sont réunis à Bellagio, en Italie, et ont défini 10 principes visant à faciliter la mise en place d'activités « *d'évaluation des progrès en vue du développement durable* ». Le premier principe, qui n'est pas forcément le plus simple à mettre en place, préconise de guider l'évaluation par « *une vision claire du développement durable et des objectifs définissant cette vision* » (International Institute for Sustainable Development (IISD) 2013). Les principes 2 à 5 portent sur le contenu de l'évaluation, qui doit s'inscrire dans une perspective globale et prendre en considération l'équité, les conditions écologiques et le développement économique. L'évaluation doit, de surcroît, avoir une portée adéquate, tant en termes d'horizon temporel, que d'étendue du champ d'étude et de prise en compte des conditions historiques. Elle doit également avoir des centres d'intérêts pratiques, à travers un nombre explicite et limité de points clés et d'indicateurs analysés. Les experts de Bellagio préconisaient la normalisation des mesures et la possibilité de comparer les valeurs des indicateurs avec des objectifs, valeurs de référence, seuils ou orientation des tendances (International Institute for Sustainable Development (IISD) 2013). Les objectifs 6 à 8 traitent des objectifs clés de l'évaluation : ouverture et transparence sur les méthodes, hypothèses et données utilisées ainsi que sur les incertitudes ; communication effective et vaste participation des différentes catégories de la population. Les deux derniers principes plaçaient les systèmes d'évaluation dans une démarche

d'amélioration continue, tant au niveau substantiel (mettre en place des démarches adaptables et pouvant s'ajuster) qu'institutionnel afin de garantir la pérennité des démarches.

Ces différents principes nous semblent relativement consensuels. Cependant, outre le fait que l'on peut s'interroger sur le suivi de ces préconisations par les systèmes d'évaluation des politiques publiques proposés ou mis en place par la suite, il nous semble intéressant, à ce point, de prendre du recul sur la notion d'évaluation environnementale, voire sur l'évaluation en général.

Les indicateurs écologiques contribuent à la mise en évidence et au traitement de problèmes publics. Pour prouver cela sur le cas d'étude de la construction de l'indice biologique en rivière, G. Bouleau s'est inspirée du modèle *naming-blaming-claiming* (Felstiner, Abel & Sarat 1980/1981), proposé par des sociologues du droit pour rendre compte des étapes préalables à une plainte devant un tribunal. En présentant, classifiant puis interprétant des données, tout en minimisant les incertitudes, les scientifiques et experts contribuent à la construction intellectuelle d'un problème collectif (« *naming* »). En proposant des liens causaux, ils participent à l'imputation de la responsabilité du problème (« *blaming* »). L'expression d'une demande auprès d'autorités publiques (« *claiming* ») génère ensuite la nécessité d'un compromis entre science et politique, afin de définir les données qui seront collectées, les choix en termes de financement de recherche et les solutions techniques à privilégier. Ces choix viennent façonner la manière dont le problème sera ensuite formulé aux autorités (Bouleau 2013a).

Ainsi, G. Bouleau montre le lien entre programmes de recherche et agenda politique. Les « *données ne sont pas données. Elles sont produites par des institutions* » (Bouleau 2013a). La recherche en écologie (et nous pensons que ses conclusions peuvent également s'appliquer plus largement à la recherche en évaluation environnementale) dépend ainsi de la politique pour le financement des données nécessaires. Inversement, la recherche peut également orienter les politiques publiques vers une redéfinition des questions environnementales. Par exemple, dans le cas de la construction de l'indice poisson, la recherche en écologie a amené les politiques publiques européennes à prendre en compte, au-delà de la pollution, le sujet des habitats, altérés par les aménagements des fleuves et rivières. Ainsi, si les politiques publiques restent autonomes dans leur conception des réponses aux problèmes mis en avant, la reconnaissance scientifique confère à la recherche une légitimité qui lui permet de conserver une certaine autonomie dans la définition de ses objets de recherche (Bouleau 2013a). Selon G. Bouleau, « *l'autonomie du champ scientifique par rapport au champ politique dépend non seulement d'un capital intellectuel développé au sein de la discipline, mais aussi de structures qui permettent d'externaliser des coûts de la recherche (comme l'acquisition des données)* » (Bouleau 2013a).

En allant encore plus loin dans l'interrogation et l'orientation à donner à nos recherches, nous ne pouvons rester insensibles aux nombreux travaux, récemment publiés, qui viennent remettre en cause la notion même d'évaluation, et le rôle aujourd'hui prédominant de son corollaire, la « *performance* » comme « *modalité de coordination des actions, dispositif cognitif de repère collectif ou de valorisation, outil de contrôle, mais aussi idéologie, voire croyance* » (Jany-Catrice 2012).

Ainsi, F. Jany Catrice souligne que la « *performance totale s'inscrit dans un nouvel « état d'esprit » qui brise les cadres collectifs et prétend objectiver les « qualités propres » des individus* ». « *En fondant sa légitimité sur le caractère prétendument axiologiquement neutre des indicateurs, ce nouvel esprit prend des airs d'inéluctabilité, et favorise le consentement collectif* » (Jany-Catrice 2012). Si les propos de F. Jany Catrice ne s'appliquent pas précisément à l'évaluation environnementale, mais plutôt à l'évaluation du travail et des individus, les critiques qu'elle émet peuvent également s'appliquer au champ de l'évaluation environnementale. En effet, le risque existe que certaines décisions non démocratiques soient justifiées (honnêtement ou non !) sous couvert d'évaluation environnementale. Certaines personnes peuvent se montrer particulièrement sensibles à ce risque, et s'opposer aux démarches d'évaluation environnementale. Il nous semble donc nécessaire d'avoir conscience de ce risque.

Selon F. Jany Catrice, «*des espaces de résistance s'organisent, empruntant des chemins divers. L'un d'entre eux souligne la domination contenue dans l'idée même de performance totale, et exige une vraie consultation des individus et des citoyens dans le processus de construction des indicateurs. L'autre revendique de sortir de la quantification, considérant que celle-ci n'est pas seulement un acte réducteur, mais un acte performateur et souvent destructeur* » (Jany-Catrice 2012). Ici aussi, ce commentaire n'est pas dirigé envers l'évaluation environnementale. Cependant, les discussions d'experts autour du thème des indicateurs environnementaux soulignent l'intérêt de développer des approches participatives de co-construction collective d'indicateurs environnementaux (Touze-Foltz et al. 2013). G. Bouleau montre en effet le lien entre la demande publique de production d'indicateurs et les jeux d'acteurs qui conduisent à l'appropriation, ou non, des indicateurs proposés, afin de mettre en évidence, ou non, un problème environnemental donné (Bouleau 2013b).

La quête de l'évaluation est associée, selon le vocable suggéré par Vincent de Gaulejac, à celle de la « *quantophrénie* », « *c'est-à-dire cette frénésie autour du chiffre et de la quantification, "véritable pathologie de la mesure"* » (Jany-Catrice 2012). On passe alors, souvent de façon implicite, de l'évaluation à la mesure. Selon F. Jany Catrice, lorsqu'elle est mobilisée dans les processus d'évaluation, tels que ceux des politiques publiques, par exemple, le terme de « *mesure* » perd sa neutralité. Bien souvent, les résultats des « *mesures* » sont présentés sans rappel des processus, souvent longs et complexes qui ont conduit à choisir des conventions et posé des hypothèses pour permettre la mise en chiffres. En effet, selon A. Desrosiere, cité par (Jany-Catrice 2012), quantifier suppose d'élaborer, débattre ou au moins expliciter des conventions d'équivalence préalables qui impliquent des comparaisons, des négociations, des compromis, des traductions, des inscriptions, des codages puis, et seulement puis, la mesure. Bien souvent, que ce soit dans les domaines environnementaux ou, plus largement, sociaux, l'attrait pour les chiffres vient occulter tous les choix, souvent implicites réalisés auparavant.

Cependant, si F. Jany-Catrice remet en cause la notion de « *performance totale* », elle vise plus particulièrement les processus actuels qui visent à « *objectiver les qualités propres* » des individus, et contribuent à l'individualisation des systèmes de reconnaissance et des rapports dans le monde du travail, venant ainsi briser les cadres collectifs. Elle reconnait que ce n'est pas le chiffre, en soi, qui est problématique, mais bien sa capacité à « *esquiver* » les vrais débats démocratiques et éthiques (« *quel monde voulons-nous ?* ») sous le dogme de

« *l'idéologie individuelle, utilitariste et marchande* » (Jany-Catrice 2012). Pour aller au-delà de cette vision, certains auteurs, tels que D. Meda, P. Viveret, J. Gadrey et F. Jany Catrice, offrant des « *poches de résistance* » à la vision dominante de la performance, proposent que

- La performance soit considérée comme plurielle (en termes de pluralité de sens, d'objectifs, de projets dont certains projets contradictoires doivent pouvoir être acceptés, mais également de vision politique).
- La légitimité de ces performances repose sur des processus délibératifs et inclusifs.

Ces auteurs préconisent ainsi la mise en place de processus collectifs d'élaboration des indicateurs de performance, pouvant prendre le parti de s'appuyer sur des collectifs faisant une large place aux citoyens. « *La notion de performance prend alors tout son sens : il est le fruit d'une construction sociale, adossée à des conventions sur les objets, sur la mesure, et à des accords sur la façon de mesurer ou d'évaluer* » (Jany-Catrice 2012). Cette volonté de générer des processus collectifs d'élaboration des indicateurs nous semblent également pertinente dans le contexte de l'évaluation environnementale qui fait appel à la notion de biens communs et qui a pour objectif d'amener les communautés à mieux en prendre soin.

Cependant, nous rejoignons F. Jany-Catrice lorsqu'elle souligne que « *cette dynamique est nécessaire mais sans doute non suffisante pour fournir les conditions sociales d'une transformation radicale de nos sociétés, rendue nécessaire par les impératifs écologiques, sociaux et humains auxquelles elles devraient faire face* ».

3.4 Evaluation environnementale : des enjeux qui viennent interroger l'approche disciplinaire traditionnelle

"T*he frontiers are my prison*."

Leonard Cohen, *The partisan*, 1969

Nous avons évoqué le lien entre l'évaluation environnementale et le courant d' « *économie écologique* » qui s'est défini trois objectifs : envisager les limites de l'économie au regard des capacités des systèmes naturels, étudier les conditions pour garantir l'équité dans la distribution des richesses et analyser l'efficacité de l'allocation des ressources pour la production et la consommation (Costanza et al. 1997). Si ce dernier point a largement été traité par les économistes classiques, l'originalité de l'économie écologique est d'évaluer « *l'optimum* » d'efficacité au regard des deux premiers objectifs cités précédemment, et non seulement au regard des critères économiques. Selon ce courant de pensée, les politiques visant à préserver les équilibres naturels, dans une perspective de soutenabilité, devraient se fixer pour objectifs de (Costanza et al. 1997) :

- Préserver la capacité des écosystèmes à nous fournir des ressources renouvelables, à des taux de rendements qui soient soutenables, ainsi qu'à mettre en place des capacités de production de ressources renouvelables qui puissent se substituer aux ressources non-renouvelables que nous utilisons,
- Préserver la capacité de « *puits* » des écosystèmes naturels en s'assurant que la production de déchets (solides, liquides et atmosphériques) soit inférieure à celle d'assimilation des systèmes naturels.

Ces auteurs suggéraient, déjà en 1997, que toute politique de soutenabilité significative devrait relever d'une vision partagée de la part des communautés impliquées (Costanza et al. 1997).

Ces fondements mettent en évidence le caractère pluri- et interdisciplinaire de ces questions qui nécessitent d'associer des connaissances relevant, en particulier, de la biologie et de l'écologie (connaissances des systèmes naturels et de leurs limites et réactions), de l'économie (et de la gestion lorsqu'il s'agit de travailler à une échelle plus locale), des sciences dites "pour l'ingénieur" (pour les quantifications et gestion des flux, par exemple), des sciences politiques, de la géographie et de l'aménagement du territoire ainsi que de la sociologie pour mieux appréhender, entre autres, les comportements humains et permettre la participation du public aux processus décisionnels.

3.4.1 Une communauté académique qui se crée

Force est de constater que le contexte académique français encourage peu les parcours interdisciplinaires, même si quelques sections du Conseil National des Universités font explicitement référence à l'interdisciplinarité (sections 24 – Aménagement de l'espace, urbanisme et 62 – Energétique, génie des procédés, par exemple). Nous avons cependant eu

la chance, du fait du positionnement un peu spécifique des écoles d'ingénieurs, en France, et particulièrement des écoles des Mines, de pouvoir, dès la thèse de doctorat, adopter une position scientifique qui ne soit pas clairement positionnée dans un corpus disciplinaire spécifique. En effet, suite à mon diplôme d'ingénieur et à ma thèse, j'ai été "qualifiée" dans la 62ème section de la CNU – « *Energétique, génie des procédés* ». Mes travaux n'ont pourtant jamais réellement porté sur les « *procédés* » en tant que tels, mais cette section « *est une section pluridisciplinaire avec des aspects méthodologiques forts : ce qui est important, c'est moins ce que l'on regarde que la manière de l'étudier* » (Conseil National des Universités). Elle est donc relativement ouverte à des travaux, situés aux frontières avec d'autres disciplines, tels que les nôtres. Dans le cadre de l'Ecole doctorale « *Sciences Ingénierie Santé* » de l'Ecole doctorale de Saint-Etienne, nous avons la chance de disposer d'une mention « *sciences et génie de l'environnement* » qui permet un rattachement de nos doctorants. Cependant, les sciences et génie de l'environnement ne sont pas (encore ?) considérées comme une discipline en tant que telle, reconnue au niveau national. Nous constatons toutefois l'émergence, tant au niveau national qu'international, de communautés de chercheurs relevant de ce domaine, qui se structurent autour de revues scientifiques ou de réseaux de chercheurs. En particulier, l'Institut Ecologie et Environnement (INEE) du CNRS se donne pour mission de « *promouvoir et d'animer une recherche fondamentale d'excellence en écologie globale menée par un réseau d'unités de recherche dans les domaines de l'écologie et de l'environnement, incluant la biodiversité et les interactions Hommes-milieux* ». Cet institut a pour objectif « *d'apporter une réponse aux problématiques liées au changement global, à la mondialisation des activités humaines, aux conséquences des actions de l'homme sur l'environnement et à ses effets sur la santé* ». « *Lieu de pluri et d'interdisciplinarité, l'INEE a vocation à faire émerger les sciences de l'environnement en tant que champ scientifique intégré* » (CNRS - Institut écologie et environnement 2013).

Au niveau des revues scientifiques, il était, il y a de cela une dizaine d'années, difficile d'identifier des revues positionnées sur nos champs thématiques, en dehors de la prestigieuse revue *Ecological economics*, créée en 1989, mais plutôt réservée à des articles relevant du champ de l'économie qu'à des sujets plus axés sur le niveau "micro" (organisations, territoires). Ce n'est plus le cas aujourd'hui. Plusieurs revues scientifiques, francophones et anglophones sont maintenant positionnées et reconnues sur ce sujet. Citons à titre d'exemples, les revues internationales anglophones *Ecological indicators, Journal of cleaner production, International Journal of Sustainable Development, Journal of Sustainability in Higher Education* et les revues francophones *Développement Durable et territoires, Vertigo, Déchets Sciences et techniques.* Nous avons eu la chance de pouvoir contribuer, soit en tant qu'auteur soit en tant que relecteur à ces différentes revues.

De même, il était, il y a une dizaine d'années, difficile de rassembler, dans le cadre d'un jury de thèse, un nombre suffisant de chercheurs habilités à diriger les recherches, reconnus académiquement et connaissant bien les problématiques liées à la prise en compte de l'environnement par les acteurs territoriaux et l'évaluation environnementale. Aujourd'hui, une communauté académique émerge sur ces sujets. Cette communauté se formalise sous la forme de différentes associations. Par exemple, le réseau EcoSD, auquel notre équipe fait partie, rassemble des acteurs de la recherche autour du thème de l'écoconception et de l'analyse de cycle de vie. Son objectif est de « *favoriser les échanges entre chercheurs, entre industriels et entre chercheurs et industriels, afin de créer et diffuser les connaissances dans le*

domaine de l'Eco-conception de Systèmes pour un Développement durable (EcoSD) en France, et au-delà de faire reconnaître l'expertise française en EcoSD à l'international » (EcoSD 2014). Dans le Languedoc Roussilon, le groupe de recherche ELSA (Environmental Life cycle and Sustainability Assessment), spécialement dédié à l'Analyse en Cycle de vie et à l'écologie industrielle appliquées aux agro-bio procédés s'est également mis en place entre plusieurs établissements de recherche (CIRAD, Ecole des Mines d'Alès, INRA, Irstea, Montpellier SupAgro).

Au niveau de la région Rhône-Alpes, la Stratégie Régionale de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (SRESRI) a défini des communautés de recherche académiques (ARCs) faisant suite aux Clusters de recherche, qui étaient des réseaux de laboratoires de recherche publics de la région Rhône-Alpes. Les ARCs ont pour objectif de structurer la recherche autour de grands enjeux sociétaux définis par la communauté européenne. Parmi ces thématiques, l'ARC 3 concerne l'environnement, l'ARC 4 les énergies et l'ARC 7 porte sur « *Innovations, Mobilités, Territoires et Dynamiques Urbaines* ».

Plusieurs acteurs de l'ARC 3 « *environnement* » se sont associés dans des groupements d'intérêt scientifique. En particulier, l'EMSE est associée à deux d'entre eux : EEDEMS (Evaluation Environnementale des Déchets, Matériaux et Sols Pollués) et Envirhônalp. EEDEMS a été créé à l'initiative de l'INSA de Lyon (LGCIE, POLDEN), du CSTB (Département Développement Durable), de l'ENTPE (LEHNA), du BRGM (Service Environnement et Procédés) et de l'EMSE afin de mettre en réseau des compétences, la coordination de programmes de recherche et la structuration de l'offre dans le domaine de l'évaluation environnementale et de la prise en compte pluridisciplinaire de l'écocompatibilité et du cycle de vie des filières de traitement et des voies de valorisation des déchets, matériaux et sols pollués. Envirhônalp, quant à lui, a été formé par neuf établissements d'enseignement supérieur et de recherche (ENMSE, ENTPE, Grenoble INP, INSA, ENS Lyon, UCBL, UJF, UJM, UdS) et quatre organismes nationaux de recherche (CNRS, IFSTTAR, IRD et IRSTEA). Sa mission principale est de développer le réseau régional de matériels mutualisés d'expérimentation, d'analyse et de modélisation (plateaux techniques) et de surveillance des milieux (observatoires) nécessaires à la réalisation de cet objectif.

Dans ce contexte régional, nous avons également eu l'occasion de présenter le laboratoire UMR 5600 Environnement, Villes et Sociétés dont nous faisons actuellement partie. Ce laboratoire rassemble plus de 130 chercheurs provenant de sept composantes. Cette diversité, centrée sur les « *sciences des territoires et de l'environnement* », permet de couvrir l'essentiel du spectre disciplinaire regroupé sous l'intitulé « *Sciences de l'Homme et de la Société*».

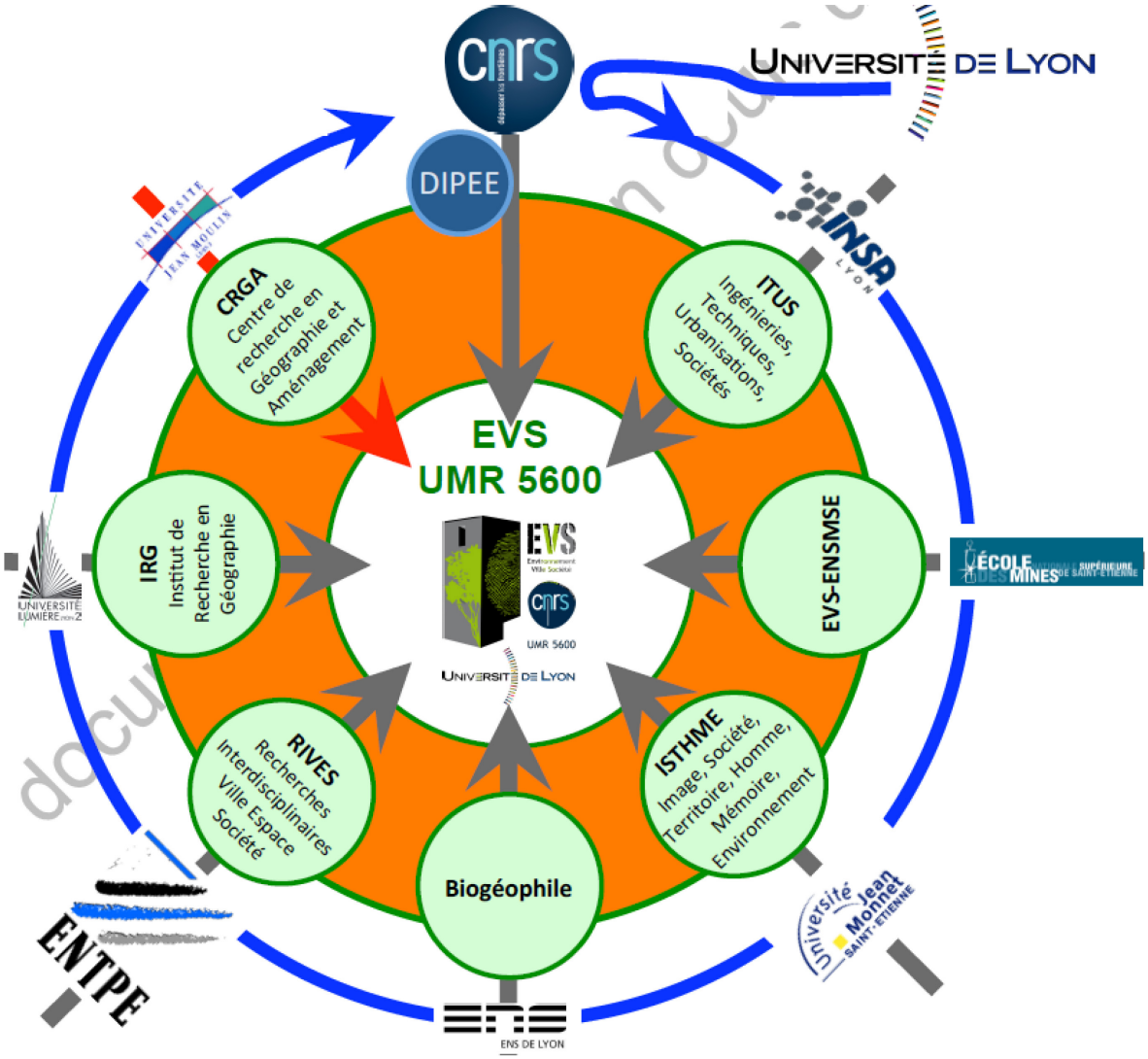


Figure 36. Les établissements partenaires et les composantes de l'UMR 5600 EVS (UMR 5600 EVS 2014)

Dans le cadre de la préparation du nouveau contrat quinquennal, nous avons contribué à la rédaction du projet de deux ateliers : l'atelier « *Matières, énergie, déchets : circulation et territoires* » proposé par Romain Garcier, Laurence Rocher et Eric Verdeil ainsi qu'à l'atelier « *Penser la ressource en contexte de changement rapide* », proposé par Marie Augendre, Marilyse Cottet, Didier Graillot, Pauline Texier-Texeira et Vincent Veschambre.

3.4.2 L'interdisciplinarité nécessite de la discipline

E. Morin, pourtant ardent défenseur de l'interdisciplinarité, rappelle la pertinence, voire le "confort intellectuel" que représente la structuration en disciplines. « *La fécondité de la discipline dans l'histoire de la science n'a pas à être démontrée ; d'une part, elle opère la circonscription d'un domaine de compétence sans laquelle la connaissance se fluidifierait et deviendrait vague ; d'autre part, elle dévoile, extrait ou construit un objet non trivial pour l'étude scientifique* » (Morin 1990). Les arguments que nous avons présentés au paragraphe 3.1 nous amènent toutefois à poser l'hypothèse que la recherche sur les thématiques liées à la prise en compte de l'environnement et l'évaluation des impacts doit expérimenter une approche

réellement interdisciplinaire, afin de pouvoir prendre en compte des connaissances relevant de champs disciplinaires différents, mais complémentaires, et de faire émerger une vision globale. Ce postulat nous semble imposer la formalisation d'une réflexion sur l'interdisciplinarité afin de fixer un certain cadre méthodologique aux travaux de recherche dans ce domaine. En effet, le fait de ne pas se proclamer d'une discipline scientifique donnée n'affranchit pas le chercheur de mettre en place, et respecter, un cadre méthodologique construit, qui lui permet de dégager l'objectivité nécessaire à ses recherches. Ceci est particulièrement vrai dans un domaine où, nous l'avons vu précédemment, la subjectivité risque de prendre une place qui ne peut être négligée (paragraphe 3.1). Le premier pas est d'être conscient de ses *a priori* et des éléments de subjectivité susceptibles d'être introduits dans les recherches. S'il est important de s'en tenir à ce cadre méthodologique en tant que chercheur individuel, cela nous paraît devenir encore plus nécessaire pour encadrer, diriger, et évaluer, des travaux de recherche menés par d'autres chercheurs. Les écueils de l'interdisciplinarité sont en effet nombreux, nous en sommes bien conscients : risques d'adopter une approche trop superficielle, difficulté à trouver des références bibliographiques et des supports de communication également interdisciplinaires, dilemme « *profondeur contre étendue* » des recherches (comment savoir où s'arrêter dans chaque discipline et éviter une dispersion trop importante dans la recherche d'information ?), risque d'oublier l'objectif initial de l'étude et de ne pas respecter les délais, sur lesquels les instances dirigeantes de la recherche placent aujourd'hui une forte pression... L'interdisciplinarité ne doit pas être synonyme de dégradation de la qualité des travaux de thèse entrepris, ni de manque de rigueur dans la démarche de questionnement et d'investigation de terrain.

Nous ne prétendons évidemment pas définir un cadre méthodologique qui serait transcendant aux autres disciplines. Plus modestement, nous nous sommes inspirés des « *tricks of the trade* »[18], définis par les professeurs de l'Energy and Resources Group de l'UC Berkeley, dans le cadre de leurs séminaires méthodologiques, pour définir certaines « astuces » (notre traduction de « tricks of the trade »), certaines règles pratiques à respecter dans le cadre de travaux interdisciplinaires. Nous nous sommes également largement inspirés du « *Manuel de recherche en sciences sociales* », de R. Quivy et V. Campenhout (Quivy, Van 2011) qui formalise le cadre méthodologique des sciences sociales.

Afin de formaliser ces réflexions méthodologiques, nous avons, au début de nos travaux d'encadrement de thèses, coécrit, puis publié en 2004, un article sur ce sujet conjointement avec Daniel Kammen, professeur interdisciplinaire et reconnu[19] de l'Energy and Resources Group (ERG). Cet article présentait quelques règles concrètes, définies par les chercheurs de l'Energy and Resources Group lors de leurs séminaires hebdomadaires de recherche, visant à aider leurs étudiants et chercheurs à gérer les problèmes liés à l'interdisciplinarité (Gondran, Kammen 2004).

---

[18] Littéralement : « trucs du marché »

[19] Membre du GIEC, nommé responsable technique de la Banque Mondiale pour l'efficacité énergétique entre 2010 et 2011, D. Kammen est auteur ou co-auteur de plus de 300 publications dans des revues scientifiques, dont de nombreux articles dans des revues telles que Science ou Nature.

- ***Aiguiser le sens critique et définir ses hypothèses***

Toute connaissance n'est valable que dans un cadre donné. Les chercheurs doivent donc définir leurs hypothèses de travail, valeurs et idéologies (au sens anglais du terme, c'est-à-dire le corps d'idées et de valeurs qui forme la façon de pensée de chacun) qui orientent implicitement leurs travaux. Cette formalisation est particulièrement importante pour le chercheur interdisciplinaire. En effet, celui-ci ne peut revendiquer une appartenance à une discipline préexistante. il doit donc fréquemment justifier son approche en expliquant ce qu'il fait, comment et pourquoi il le fait (Norgaard 2002). D'autre part, comme nous l'avons évoqué plus haut, les études liées à la protection de l'environnement sont souvent conduites par des « *chercheurs engagés* » (notre traduction de « *activist scholar* ») passionnés par leur sujet d'étude, parfois dans le cadre de recherche-intervention, c'est-à-dire en intervenant sur l'objet étudié. Le postulat positiviste d'un observateur neutre, objectif et détaché de son sujet ne peut donc s'appliquer. Le chercheur doit alors s'interroger sur les interactions et frontières entre lui-même en tant qu'observateur et son sujet d'observation. Afin de faciliter la prise de recul sur les sujets de recherche, il paraît nécessaire d'encourager les chercheurs à communiquer sur leurs travaux afin de leur permettre de bénéficier d'un regard extérieur et de faciliter l'explicitation de leurs hypothèses de travail, idéologie et valeurs. Ainsi, en ERG, par exemple, une demi-journée par semaine (facultative pour les étudiants, mais obligatoire pour les professeurs) est réservée aux échanges entre étudiants et enseignants au cours de séminaires et colloques. En lien avec la formalisation des hypothèses, il est également nécessaire d'aider les jeunes chercheurs à prendre conscience des limites (inévitables) de leurs travaux. J. Koomey, par exemple, présente des méthodes permettant une critique systématique des données et hypothèses sous-jacentes aux études utilisées (Koomey 2001).

Cette prise de recul peut prendre différentes formes : communications formelles dans le cadre de séminaires internes ou de colloques scientifiques, mais également discussions informelles ou échanges avec le « grand public », souvent intéressé par le regard des chercheurs sur des sujets en lien avec des préoccupations de la société.

La confrontation entre chercheurs issus de plusieurs disciplines implique également des échanges et de la pédagogie sur les fondements, vocabulaires et hypothèses propres à chaque discipline, favorisant ainsi, paradoxalement, une meilleure connaissance des fondements inhérents à chacune des disciplines.

Aider un doctorant à définir ses hypothèses et aiguiser son sens critique par rapport à sa méthode et ses résultats est particulièrement important dans le cadre de thèse CIFRE afin de l'amener à prendre conscience des limites de son travail. En effet, dans ce cas, le doctorant est salarié de l'entreprise pour laquelle il effectue ses travaux de recherche. Il lui est donc souvent difficile de prendre du recul par rapport au positionnement de son entreprise. Nous avons, par exemple, été confrontés à cette situation dans le cadre de la thèse de Karen Delchet, qui était salariée de l'entreprise CAP-AFNOR sous contrat CIFRE. L'objectif de la thèse était de proposer une méthode de prise en compte du développement durable par les entreprises. Du fait de son positionnement au sein de CAP-AFNOR, entreprise de formation et d'audit sur les systèmes de management, l'approche alors proposée était fortement

orientée par les principes des approches managériales. Nous avons donc travaillé ensemble afin d'identifier les postulats implicites à la méthode proposée et d'en identifier les limites. Ainsi, la méthode proposée était basée sur une auto-évaluation déclarative, non validée par une évaluation extérieure plus objective, tant en ce qui concerne les niveaux de performance obtenus par les entreprise pour les différents enjeux, qu'au niveau de l'importance à accorder à ces différents enjeux. Les enjeux de long terme étaient donc quasi-systématiquement jugés comme peu importants et, en l'absence de consultation des parties intéressées, l'importance accordée par les parties intéressées aux différents enjeux n'était considérée qu'au prisme de la représentation qu'en avait l'équipe de l'entreprise qui répondait au questionnaire.

- ***Inciter à « connaître son héritage »***

« *L'interdisciplinarité ne consiste pas seulement à juxtaposer quelques morceaux de savoir : elle implique d'élaborer des concepts nouveaux pour articuler entre elles les connaissances issues des différents champs* » (Lefeuvre 1991). J.P. Dupuy (2003) propose d'introduire l'histoire et la philosophie des sciences dans les cursus d'enseignement scientifique. L'approche choisie en ERG est d'inciter les étudiants à «*connaître leur héritage*» en les obligeant à lire et analyser une vingtaine d'ouvrages des divers auteurs ayant influencé la pensée écologique. Afin de créer une « *histoire commune* » entre les chercheurs d'un même centre et rattacher cette « *histoire* » aux ouvrages préalables faisant référence sur le thème de recherche du centre, les enseignants-chercheurs pourraient collectivement sélectionner une liste des « *classiques de la littérature sur l'environnement* » qui les ont influencés et ont inspiré l'histoire de leurs thèmes et de leur équipe de recherche. L'objectif est de permettre aux jeunes chercheurs de développer une culture commune par la lecture de « *classiques* » de la littérature sur les questions traitées dans l'équipe.

La liste ci-après présente les principaux ouvrages de la littérature américaine qui avaient été identifiés, en 2002, comme des « *classiques* » de la littérature écologiste, aux USA, par les enseignants d'ERG.

Tableau 16. Liste des « *classiques* » sélectionnés par les enseignants de ERG comme lecture obligatoire pour la première année du cours de « *classiques de l'environnement* »

Vannevar Bush (1945)	*Science, The Endless Frontier*
Aldo Leopold (1949)	*A sand county almanach*
Harrison Brown (1954)	*The challenge of man's future*
Rachel Carson (1962)	*Silent spring*
Richard Feynman (1963)	*The meaning of it all: Thoughts of a Citizen Scientist*
Ernst F. Schumacher (1973)	*Small is beautiful*
Amory B. Lovins (1976)	*Energy Strategy: The Road Not Taken*
Samuel C. Florman (1976)	*The existential pleasure of engineering*
Amartya Sen (1981)	*Poverty & famines. An essay on entitlement deprivation*
F. E. Trainer (1985)	*Abandon Affluence and Growth: Ecology and Capitalism in the World Today*
Donella Meadows, Dennis Meadows, Jørgen Randers (1972)	*The Limits to Growth*
Donella Meadows, Dennis Meadows, Jørgen Randers (1992)	*Beyond the Limits: Confronting Global Collapse; Envisioning a Sustainable Future*
Wolfgang Sachs, Editor (1992)	*The Development Dictionary: A Guide to Knowledge as Power*
Richard White (1995)	*The organic machine: the remaking of the Columbia river*
William Cronom (1992)	*Nature's Metropolis: Chicago and the Great West*

En ce qui concerne les travaux de notre équipe, nous pouvons regretter qu'un tel travail d'identification collective des « *classiques* » influençant nos travaux n'ait pas été mené à bien. A titre personnel, j'ai été influencée par de nombreux ouvrages que je conseille régulièrement à mes étudiants, comme par exemple, *Small is beautiful – Economics as if people mattered* (Schumacher 1973), *Facteur 4* (Von Weizacker, Lovins & Lovins 1997), *Qu'est ce que la richesse* (Meda 1999). Mais il nous semblerait intéressant de mener un travail plus collectif sur l'identification de ces ouvrages de références.

Sur le plan méthodologique, nous conseillons également à nos étudiants la lecture du *Manuel de recherches en sciences sociales* (Quivy, Van 2011), de littérature sur la science des systèmes ((Le Moigne 1973), par exemple), ou de *La sociologie des organisations* (Bernoux 1990) ou *L'acteur et le système* (Crozier, Friedberg 1977).

Comme nous l'avons évoqué aux paragraphes 2.3 et 3.2.5.2, nous considérons que la thèse d'A. Boutaud (Boutaud 2005) constitue une synthèse robuste de la littérature sur la durabilité. Nous en conseillons donc vivement la lecture à nos doctorants.

- ***Encourager l'ouverture d'esprit***

Confronter les étudiants avec des individus a priori différents d'eux peut les aider à appréhender le fait que, malgré les diversités culturelles, certains aspects sont intrinsèques à l'identité humaine et sont communs à tous les individus, au-delà de leurs différences.

En France, la plupart des écoles d'ingénieurs françaises encouragent l'ouverture internationale et culturelle de leurs étudiants en les amenant à effectuer une partie de leur scolarité à l'étranger. Par exemple, un « *quitus international* » est imposé aux élèves ingénieurs du cycle Ingénieur Civil des Mines de Saint-Etienne. Si de nombreuses bourses et programmes (ERASMUS, CMIRA de la Région Rhône-Alpes, par exemple) permettent aux doctorants de réaliser des séjours à l'étranger, il nous semble que, sans imposer une mobilité internationale, l'ouverture peut également passer par la mise en relation d'individus ayant des profils et des cultures différents au sein-même de leur établissement. A ce titre, l'intégration de notre équipe de recherche à l'UMR 5600 Environnement Ville et Société nous semble prometteuse. En effet, cette UMR multi-composante, mais majoritairement composée d'équipes de recherches en sciences sociales, nous semble être un lieu intéressant pour permettre aux jeunes chercheurs d'échanger sur les fondements méthodologiques et épistémologiques de leurs recherches dans le cadre de discussions entre chercheurs travaillant sur des objets proches, mais avec des approches disciplinaires variées.

Dans le domaine de l'enseignement, nous essayons également de permettre le croisement des cultures des différents étudiants en mutualisant des cours entre plusieurs formations afin de faire travailler ensemble des étudiants ayant divers profils. Ainsi, depuis 2009, nous proposons une unité pédagogique sur le développement durable commune aux élèves ingénieurs des options environnement et procédés-énergie ainsi qu'aux élèves en aménagement du territoire du master STADE. Cela a amené des élèves de cultures différentes (ingénieurs procédés, ingénieurs environnement et géographes) à travailler ensemble autour d'un projet commun : l'étude d'opportunité de la mise en place d'une chaufferie bois à Aurec-sur-Loire. Ils ont ainsi pu être confrontés aux différences de penser et de travailler de chacun, ce qui a parfois généré des discussions mouvementées ! Mais ils ont également été amenés à prendre conscience des complémentarités de chacun : par exemple, si les élèves ingénieurs étaient plus à l'aise sur les aspects techniques, les géographes l'étaient davantage sur le montage juridique ainsi que sur la prise de conscience des enjeux territoriaux et ceux liés à l'acceptation du projet par les populations locales.

- ***Des sujets de recherche connectés au « monde réel »***

Le cadre de recherche des Ecoles des Mines nous amène à avoir un positionnement de recherche connecté aux problématiques économiques et sociales de leur territoire d'implantation. Nous avons ainsi privilégié des travaux de recherche-intervention, en lien avec les acteurs "de terrain" (entreprises ou collectivités territoriales) plutôt que des approches théoriques qui risqueraient d'être déconnectées de la réalité du terrain.

Cette approche est également privilégiée par des auteurs tels que D. Kammen qui ont à cœur de rappeler à leurs étudiants que leurs travaux de recherche sont en relation avec le monde réel (« *mundane science* ») par de nombreuses connections, d'ailleurs souvent mal identifiées (Kammen, Dove 1997).

Cependant, comme nous l'avons évoqué plus haut, nous pensons que les acteurs doivent s'approprier les enjeux liés à la durabilité afin de définir par eux-mêmes les solutions pouvant être mises en place afin de répondre à ces enjeux. Ainsi, nous nous efforçons aujourd'hui de ne pas proposer des approches trop normatives, qui définiraient a priori les actions à mettre en place par les acteurs de terrain. Nous souhaiterions au contraire pouvoir leur donner des éléments de réflexion, à travers l'évaluation et la représentation de leurs impacts, sur les conséquences générées par leurs modes de faire, ou plus simplement, des plans d'actions envisagés (thèse de (Dumoulinneuf 2014), par exemple) afin de les aider à définir collectivement de nouveaux modes de faire. A ce titre également, nous pensons que le renforcement des liens avec des chercheurs de sciences humaines et sociales, en particulier dans le cadre de l'UMR 5600 Environnement Ville Société, est riche en perspectives afin de nous permettre de progresser dans la prise en compte des attentes des différents acteurs de la société ainsi que de leur implication dans des programmes de recherche.

Notons toutefois que cette approche de recherche « *connectée au monde réel* » ne doit pas s'affranchir d'une approche plus théorique. Il en va de notre positionnement de chercheur qui doit se distinguer d'approches relevant des bureaux d'études, avec lesquels nous devons pouvoir travailler en complémentarité, mais sûrement pas en concurrence. Nous nous positionnons généralement plus en amont, sur des problèmes pour lesquels il n'y a pas encore de méthodologie établie. Comme nous le mentionnerons par la suite dans nos perspectives de recherche, certains sujets que nous souhaitons traiter relèvent de réflexions plus théoriques : soit sur un plan méthodologique, comme les travaux sur l'incertitude envisagés au paragraphe 4.2.2, par exemple, soit sur un plan plus épistémologique, avec l'axe de recherche transverse sur le lien entre temps, vitesse et durabilité, mentionné au paragraphe 4.3. Il est à noter que le financement des bourses de thèse, reposant actuellement de plus en plus sur des recherches partenariales (bourses CIFRE ou ADEME, par exemple), peut compromettre l'approfondissement de réflexions théoriques non directement opérationnelles.

- ***Aider à gérer l'incertitude par des calculs au dos d'enveloppe***

Nous avons évoqué plus haut le fait que les problématiques environnementales étaient généralement associées à des niveaux élevés d'incertitude. L'incertitude peut être définie comme « *la différence entre la quantité d'information requise pour exécuter une tâche et la quantité d'information déjà existante dans l'organisation*» (Galbraith 1977). V. Roche différencie l'incertitude de l'ambiguïté, qui peut être définie comme « *la résultante d'une hésitation entre des choix dont la pertinence est légitime* » (Roche 2000). Des sources d'incertitude et d'ambiguïté se retrouvent dans l'environnement externe (milieu physique, environnement sociopolitique), l'information disponible (processus de collecte des données, langage, mécanismes d'apport d'information), les décideurs eux-mêmes (capacités cognitives de

traitement de l'information, interprétation de l'information, schéma cognitif), et le positionnement des éventuels autres décideurs (mandats, rôles, comportements) (Roche 2000).

Les professeurs de l'Energy and Resource Group de l'UC Berkeley s'appuient sur des méthodes de résolution des problèmes dites « *back of the envelope calculation* » (calculs au dos d'enveloppe). John Harte, un des professeurs de ERG, écologue qui travaille depuis les années 1970 sur les effets des activités humaines et les interrelations entre biodiversité, structures et fonctions des écosystèmes et changements climatiques, a ainsi publié plusieurs versions d'un ouvrage (intitulé avec humour « *Consider a spherical cow* », c'est-à-dire « considérant une vache sphérique ») qui vise à aider les étudiants à réaliser une première estimation quantitative d'une problématique donnée, puis d'en estimer l'incertitude. Sa méthode est basée en trois étapes (Harte 1988):

- Adopter une vision large du problème afin d'établir une compréhension qualitative des mécanismes du processus étudié,
- Représenter mathématiquement ce processus qualitatif et utiliser les données disponibles (en posant et explicitant des hypothèses si besoin) pour obtenir une « *solution quantitative détaillée* » du problème,
- Evaluer la robustesse de cette réponse si des hypothèses sont modifiées ou omises.

Force est de reconnaître que, pour des problèmes complexes, décrits par un nombre élevé de paramètres, et non déterministes, les analyses de sensibilité sont très difficiles à mener. Ainsi, certains travaux, menés au sein du centre SITE, visaient à aider les utilisateurs de données à gérer, de façon qualitative, ces questions d'incertitudes en associant aux données mises à disposition des métadonnées qui permettent de qualifier les données acquises en précisant, par exemple, leur source, leur date et leur mise à jour, leur niveau de qualité, leur domaine d'usage, etc.

Dans le cadre des méthodes d'évaluation environnementale que nous mobilisons, deux sources majeures d'incertitudes sont identifiables :

- Les données relatives aux consommations et émissions générées par l'entité étudiée,
- Les données, généralement obtenues dans des bases de données spécifiques ou dans la littérature, sur les facteurs de caractérisation.

Plusieurs travaux de thèse ((EL BOUAZZAOUI 2008), (Moreau 2012) et (Dumoulinneuf 2014)) ont montré l'importance de l'incertitude sur les résultats d'évaluations environnementales et les conséquences de cette incertitude sur les préconisations en termes d'aide à la décision.

Par exemple, V. Moreau a quantifié l'incertitude portant sur les résultats de l'évaluation des impacts environnementaux générés par des équipements informatiques.

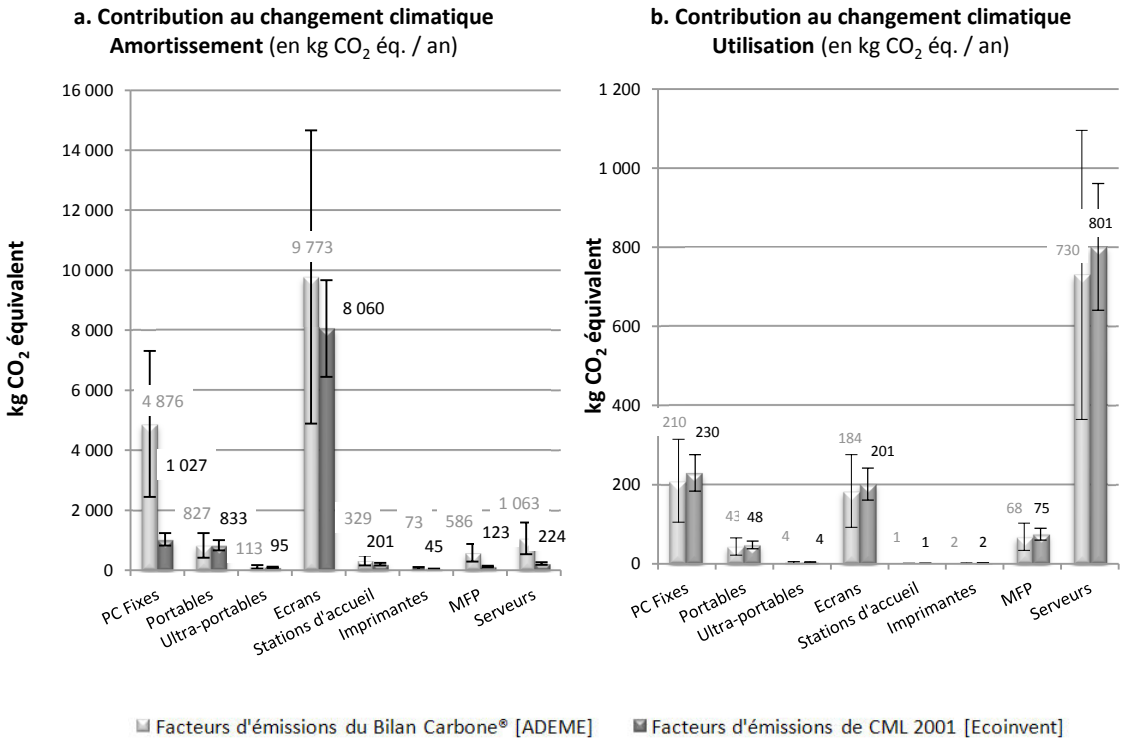


Figure 37. Expression de l'impact « contribution au changement climatique » exprimé en kg CO_2 équivalent lors de la phase de fabrication (amortissement) et d'utilisation d'équipements informatiques, selon deux sources de données de caractérisation différentes (méthodes Bilan Carbone® et CML 2001) (Moreau 2012)

Sur le graphique a de la Figure 37, il apparaît que si l'on se contente des résultats bruts, on peut en déduire que les émissions de gaz à effet de serre générées par la fabrication des écrans sont largement supérieures à celles générées par la fabrication des PC fixes. Cette conclusion est cependant modérée par la barre d'erreur apparaissant sur ce graphique. Si la méthode CML 2001 confirme ce résultat, la borne inférieure de la marge d'incertitudes estimée par la méthode Bilan Carbone® pour les écrans est supérieure à la marge supérieure de l'incertitude des PC fixes estimée avec cette même méthode. Ce résultat laisse donc entrevoir une probabilité non nulle que la réalité des émissions ne soit pas celle représentée par les résultats moyens.

Nous voyons également apparaître sur ce schéma une différence entre les résultats obtenus avec différentes méthodes de caractérisation. Même si les facteurs de caractérisation sont relativement stables, d'une méthode à l'autre, pour le thème des émissions de gaz à effet de serre qui est l'un de ceux les plus standardisés et utilisés, on peut toutefois noter certaines différences. Par exemple, les émissions de gaz à effet de serre liées à la fabrication des ordinateurs fixes diffèrent selon que les coefficients de conversion proviennent du Bilan Carbone® de l'ADEME ou de la méthode CML 2001. Cette dernière attribue des coefficients plus faibles pour l'amortissement de la majorité des catégories d'équipements (ordinateurs fixes, écrans, stations d'accueil, imprimantes, MFP et serveurs). L'explication principale de cette différence réside probablement dans le périmètre d'étude considéré. En effet, alors que le périmètre d'étude des facteurs d'émissions calculés dans Ecoinvent (dont CML 2001) s'intéresse aux matériaux utilisés, au processus de fabrication et à l'emploi d'énergie au

cours de ce processus, le Bilan Carbone® intègre en outre la part des émissions liées à la fabrication de l'usine de production (Moreau 2012).

Nous devons toutefois reconnaître que nous n'avons pas abordé en profondeur cette question de l'estimation des incertitudes et de la robustesse des modèles proposés dans nos différents travaux de recherche. Cela nous semble être une perspective de recherche prometteuse, comme nous le mentionnerons au paragraphe 4.2.2. En particulier, du fait de l'augmentation, à l'heure actuelle, du nombre et de la qualité des données disponibles sur des champs jusqu'alors peu couverts par des données, il nous semble dorénavant possible et pertinent d'envisager à l'avenir des travaux portant sur l'incertitude et la robustesse des méthodes d'évaluation environnementale. La recrudescence des publications scientifiques sur des sujets tels que l'estimation de l'incertitude dans les analyses de cycle de vie, par exemple, corrobore cette idée. De plus, cette piste permettrait le développement de collaboration, en interne, avec l'équipe de mathématiques de l'Institut Fayol dont les sujets de recherche concernent le modélisation des incertitudes et l'analyse de leurs effets, les probabilités et autres représentations des aléas, ainsi que les analyses de sensibilité.

- ***Stimuler la créativité***

Selon les professeurs d'ERG, « *il n'y a pas de règle unique à suivre et le chemin pour aller d'un point A à un point B n'est ni unique ni clairement défini à l'avance* ». Ainsi, chaque étudiant peut apprendre à apprendre si on le laisse construire sa propre approche et si on l'autorise à dévier de celle prévue initialement.

Contrairement à la démarche américaine où l'étudiant définit lui-même son sujet de thèse, les étudiants que nous encadrons débutent leur thèse sur la base d'un sujet prédéfini par leurs encadrants (sauf dans le cas d'étudiants qui nous contactent avec un sujet prédéfini afin que nous les aidions à monter leur projet de thèse puis que nous les encadrions sur leur sujet, ce qui a été le cas pour A. Boutaud et G. Guilloux). Il est cependant possible (voire, il me semble, indispensable !) de laisser aux étudiants une certaine marge d'autonomie pour préciser leur sujet de recherche et leur méthodologie. Cela nous semble permettre de stimuler la créativité et faciliter l'appropriation des concepts sur lesquels ils travaillent. Cela implique également de baser les rapports encadrants/étudiants sur un échange mutuel (et non un rapport de domination), d'accepter que les travaux des étudiants prennent plus de temps qu'avec une approche plus directive et que l'étudiant ne choisissent pas forcément la méthode proposée, et n'obtienne pas toujours le résultat escompté …

Nous essayons de reprendre à notre compte ces principes pédagogiques dans le cadre de nos encadrements de projets d'élèves, de masters recherche et de thèses. Il nous semble en effet important de faire comprendre aux étudiants que leur projet est avant tout une expérience personnelle qu'ils doivent s'approprier. Cela implique d'accepter que le projet que l'on avait initialement envisagé prenne un autre chemin. Par exemple, le sujet qui avait été proposé à Jonathan Villot visait initialement à analyser les retours d'expérience de projets pilotes de rénovation énergétique ayant été réalisés en France. Pour diverses raisons, dont le manque de données disponible à ce moment-là, Jonathan Villot a finalement mis en place une démarche de recherche plus locale visant à analyser en profondeur des bâtiments en cours de

rénovation (simulation thermique dynamique croisée avec des entretiens d'acteurs et d'habitants des bâtiments). Ce travail croisant approche de simulation thermique (relevant des sciences dites pour l'ingénieur) et entretiens (relevant des sciences sociales) s'est avéré très riche, même s'il ne correspondait pas au projet initial.

Cette ligne de conduite peut cependant se heurter à la durée limitée des projets (de quelques mois pour un stage de master recherche à trois ans, pour une thèse de doctorat). Cette durée, inévitablement limitée, implique parfois, et en particulier pour certains étudiants, un encadrement un peu plus "dirigiste" que nous le souhaiterions. Dans tous les cas, l'encadrement d'une thèse selon ces principes, est une "aventure humaine", parfois difficile, voire conflictuelle, mais toujours très riche d'apprentissages tant pour le doctorant que pour ses encadrants.

- ***Ne pas oublier de « se concentrer sur ce qui importe vraiment » (« focus on what really matters »)***

Fidèles à leur tradition de quantification des problèmes, les enseignants d'ERG rappellent régulièrement à leurs étudiants qu'il « *ne leur reste plus que 16 000 à 18 000 jours à vivre, et qu'il faut qu'ils en tirent le meilleur en se concentrant sur ce qui importe vraiment* ». Ce credo est d'ailleurs celui qui était le plus mis en avant au sein d'ERG en 2002. Peut-être permet-il d'éviter de trop se disperser et se perdre dans les labyrinthes possibles de l'interdisciplinarité ? Mais surtout, il vise à ramener chacun à ses propres valeurs et objectifs. S'il m'arrive parfois de rappeler à mes doctorants qu'ils doivent « *se concentrer sur ce qui importe vraiment* », j'ai surtout rappelé cette devise dans le cadre d'un cours sur les métiers de l'environnement, proposé aux élèves ingénieurs, de deuxième année du cycle ingénieur civil des Mines, et aux doctorants (dans le cadre d'une formation transdisciplinaire). En effet, la transition entre la vie étudiante et la vie professionnelle est un moment qui me semble très structurant dans la vie d'une personne. Choisir son premier métier est souvent tout aussi engageant sur sa vie professionnelle (qui ne peut être déconnectée de sa vie personnelle) que choisir sa formation. Au moment où les étudiants commencent à préciser leur projet professionnel, il me semble important d'attirer leur attention sur la nécessité d'identifier les valeurs et objectifs qui les guident. En effet, certains métiers leur permettront mieux que d'autres d'exprimer leurs valeurs et de s'épanouir. Par exemple, quelqu'un qui se sait anxieux et qui perd ses moyens en situation de stress ne devra pas faire les mêmes choix professionnels que quelqu'un qui est stimulé par les situations de compétition et de travail dans l'urgence. Il ne faut pas introduire de jugement de valeur entre les différentes priorités de chacun, mais il me semble important d'amener chacun à connaître ses propres valeurs, forces et faiblesses pour faire les bons choix professionnels. Ainsi, depuis une dizaine d'années, nous échangeons avec les étudiants, à la fin d'un cours de présentation des différents métiers et acteurs de l'environnement, afin de les aider à identifier les différents aspects que l'on peut rechercher dans un métier. L'objectif est de permettre à chaque étudiant d'en dégager les critères qui lui semblent importants. Les points suivants ont ainsi émergé de ces discussions avec les étudiants, comme étant des critères de choix potentiels pour un métier :

- L'attrait pour le métier en lui-même (l'activité, le niveau de responsabilité, le goût pour la résolution de problèmes complexes, pour l'organisation, etc.)
- La qualité de vie que le métier engendre, par exemple en termes d'exigences au niveau des horaires, des astreintes éventuelles, des déplacements nécessaires, de la situation géographique de l'entreprise, etc.
- Le niveau de salaire proposé, d'avantages en nature éventuels ou la sécurité de l'emploi sont des critères souvent tabous mais incontournables.
- La recherche d'un certain statut social est un critère qui ne doit pas être occulté dans le choix d'un métier de cadre.
- L'effet de modèle (ou contre-modèle) que l'on peut avoir vis-à-vis de ses parents ou de personnes qui nous ont influencés.
- Les perspectives d'évolution de carrières conduisent souvent les étudiants à privilégier a priori des carrières en grandes entreprises plutôt qu'en PME.
- Les perspectives en termes de formations et de développement de compétences est un critère qui est souvent mis en avant par les doctorants qui ont développé une curiosité intellectuelle qu'ils veulent pouvoir continuer à assouvir dans leur futur métier.
- Les perspectives qu'offre le métier en termes de relations humaines semblent également un point crucial à prendre en compte. Dans certains métiers, la capacité à bien savoir gérer les relations humaines est cruciale. D'autres impliquent moins de contacts interpersonnels. Au-delà de cette dichotomie, les types de relations humaines en jeu pourront être très différentes selon les métiers : compétition versus coopération, capacité à pouvoir transmettre des connaissances et des valeurs, relations basées (ou non) sur l'autorité, etc.
- Certains étudiants se savent stimulés par le fait de travailler dans l'urgence, d'autres, au contraire, aiment pouvoir s'organiser sur le long terme.
- Enfin, la capacité à pouvoir contribuer à l'intérêt général et à la protection de l'environnement est une valeur qui guide très souvent les étudiants ayant choisi une filière dans le domaine de l'environnement. La plupart d'entre eux souhaitent ainsi pouvoir mettre en pratique cette valeur dans le cadre de leur vie professionnelle.

3.5 Synthèse du chapitre présentant les travaux de recherches réalisés

Dans ce chapitre, nous avons montré que nos travaux avaient pour ambition de proposer et d'expérimenter des méthodes d'évaluation environnementale pour encourager les acteurs territoriaux à réduire les pressions qu'ils exercent sur l'environnement. Cet objet de recherche se situe à l'interface entre la création de connaissances scientifiques et l'observation, voire la modification des pratiques. La plupart de nos travaux se positionnent ainsi dans une démarche de recherche-intervention. Nous nous intéressons, plus particulièrement, à la « *recherche sur la vie quotidienne* » des organisations professionnelles, c'est à dire au fonctionnement quotidien d'organisations professionnelles, qu'elles soient privées (PME, grandes entreprises) ou publiques (service décentralisé de l'Etat, Parc National, collectivités territoriales).
Réfléchir en termes de durabilité implique d'élargir le spectre de la comptabilité environnementale dans trois domaines :

- Le *périmètre,* en termes de responsabilités : nous avons essayé de prendre en compte les impacts directs mais également indirects.
- Le *champ thématique des enjeux* : en amenant les décideurs à prendre en compte des thèmes dont ils n'ont pas spontanément conscience (impact sur la biodiversité, par exemple).
- La *dimension temporelle* : le défi étant d'allier réflexion de court et long termes.

Nous privilégions les approches de comptabilité environnementale basées sur les consommations, afin d'aborder les enjeux liés à la mondialisation de la production. Nous avons ainsi développé deux axes méthodologiques complémentaires de recherche :

- le *développement d'outils à base d'indicateurs* inspirés soit des méthodologies d'analyse de risque (dans le cadre de la mise en place d'un système de management environnemental sur le projet de 2*2 voies de la RN7-RN82, au sein du Service Transports et Infrastructures de la DDE de la Loire, par exemple), soit des méthodes d'analyse multicritère. L'approche multicritère s'est d'abord traduite par des outils d'évaluation qualitative à base d'indicateurs dans le cadre du développement de méthodologies de diagnostic et d'accompagnement de la mise en place de la responsabilité sociétale dans les PME / PMI. Nous avons également développé des outils inspirés de cette méthodologie, mais pouvant être utilisés par des collectivités locales. A titre d'exemple, la zone d'activité stéphanoise de Molina La Chazotte nous a servi de terrain d'études dans le cadre de plusieurs projets. Nous avons ensuite approfondi le thème plus précis de l'efficacité énergétique afin de gagner en compétences sur une thématique qui, bien que traitée par ailleurs par de nombreux acteurs, nous semble aujourd'hui centrale au sein des problématiques liées à la soutenabilité. Deux projets ont par ailleurs mis en œuvre des méthodes quantitatives d'analyse multicritère. Le premier portait sur l'évaluation des impacts environnementaux liés aux activités d'une station d'épuration. Le second concernait l'évaluation a priori des impacts, éventuellement contradictoires, des actions RSE proposées par une entreprise de grande distribution.
- le *développement d'outils d'évaluation basés sur les flux biophysiques*, et en particulier selon les méthodologies d'ACV et de l'empreinte écologique. Nous avons d'abord abordé l'ACV de façon qualitative dans le cadre d'une thèse sur l'écodesign. Nous l'avons ensuite

utilisée pour proposer une méthodologie permettant conjointement l'expression des impacts environnementaux locaux et planétaires, incluant ainsi les impacts directs d'une activité, mais également les impacts générés par la fabrication des biens et services utilisés par l'activité étudiée (application aux services informatiques d'une grande entreprise). C'est également la méthodologie d'ACV qui a été utilisée pour proposer une méthode d'évaluation environnementale des besoins de mobilité des grandes aires urbaines en France puis évaluer, selon 9 indicateurs classiquement utilisés en ACV, les résultats de simulation des mobilités fournis par le modèle transport-urbanisme SIMBAD sur le Grand Lyon. Nos travaux de recherche sur l'empreinte écologique ont quant à eux plus particulièrement visé à transposer les méthodes d'estimation de cet indicateur du niveau "macro" des nations, pour lequel la méthodologie a été pensée et affinée, vers le niveau "micro" des organisations (administration du Parc National de la Vanoise, par exemple) ou le niveau infranational (zones d'études et d'aménagement du territoire).
Ces différents travaux nous ont apporté une prise de recul sur les limites de l'évaluation, et plus particulièrement de l'évaluation environnementale. L'évaluation ne doit pas être considérée comme une fin en soi, mais comme un outil au service d'une perspective de transition vers une meilleure durabilité écologique. Parmi les différents verrous de l'évaluation environnementale, nous retiendrons :

- La nécessité de trouver un ***équilibre entre approche normative et évaluative***, voire constructiviste : si nous pensons nécessaire d'impliquer les différentes parties prenantes de la société pour définir un cadre normatif d'évaluation environnementale, force est de constater qu'un tel débat serait très ambitieux et n'est pas à l'ordre du jour des agendas politiques, écologiques voire citoyens… En son absence, la communauté scientifique se voit contrainte de palier à cette absence de réflexion collective en proposant elle-même le cadre normatif. Nous pensons donc qu'il est de notre devoir, en tant que scientifique travaillant sur l'évaluation environnementale, de sensibiliser les différents acteurs et le « grand public » à ces questions afin d'encourager la société à s'emparer de ces sujets.
- Le ***dilemme de la précision scientifique versus la simplification*** souhaitée par les décideurs. Plus la quantité d'information est agrégée, plus elle est supposée être accessible au plus grand nombre, mais l'agrégation suppose la commensurabilité, et repose donc sur l'hypothèse de substituabilité dont nous avons présenté plus haut les limites…
- Les limites intrinsèques à la question-même de l'évaluation : les ***indicateurs écologiques contribuent à la mise en évidence et au traitement de problèmes écologiques***. Les choix intrinsèques à leur construction viennent façonner la manière dont les problèmes écologiques seront ensuite formulés aux autorités, et donc pris en compte, ou non. Pour aller plus loin, nous ne pouvons rester insensibles à la remise en cause de la « *quantophrénie* », « *c'est-à-dire cette frénésie autour du chiffre et de la quantification, "véritable pathologie de la mesure"* (Jany-Catrice 2012).

Enfin, nous avons souligné que l'évaluation environnementale interroge, par son essence-même, l'approche disciplinaire classique. Cela ne nous conduit pas à remettre en cause la structuration en disciplines qui fixent un cadre intellectuel, reconnu par les pairs, à la réflexion. Mais, inscrivant nos travaux dans une approche interdisciplinaire, il nous a semblé

important de prendre du recul sur la démarche interdisciplinaire. Après avoir constaté l'émergence, tant sur le plan international que sur le plan national, d'une communauté scientifique sur les thèmes sur le thème de l'évaluation environnementale (revues spécialisées, réseaux de chercheurs, etc.), nous avons décrit quelques règles que nous nous efforçons de suivre et transmettre afin de cadrer la démarche interdisciplinaire inhérente à nos travaux de recherche. Par exemple, nous essayons de veiller à la formalisation des hypothèses de recherche. Il nous semblait également intéressant de formaliser « l'héritage intellectuel » dans lequel nous nous positionnons, à travers l'identification et le partage des « classiques » de la littérature du domaine dans lequel nous nous positionnons. Notre positionnement est également de privilégier les sujets de recherche connectés au « monde réel », définissant ainsi le cadre théorique à partir de l'observation de ce que nous observons sur le « terrain ». Il était également important d'apporter un regard critique sur nos travaux de recherche, tant sur le plan qualitatif, en essayant d'identifier les limites de nos travaux, mais également sur le plan quantitatif, en prenant conscience - et cela pour certains d'entre eux – de l'incertitude relative aux résultats présentés. Enfin, le point, qui nous parait central mais aussi peut-être le plus difficile, en tant qu'encadrante de travaux de recherche, est de stimuler la créativité des chercheurs. Cela implique de savoir accepter qu'un chercheur ne choisisse pas forcément et systématiquement le chemin initialement prévu pour développer une recherche, car il s'agit surtout de « se concentrer sur ce qui importe vraiment », afin d'éviter de se « perdre » dans un dédale non balisé et potentiellement immense. C'est sur ces bases que nous proposons les pistes de recherche présentées dans le dernier chapitre.

4. Perspectives de recherche : pour une comptabilité environnementale visant à guider les transitions

Si estirem tots, ella caurà
I molt de temps no pot durar :
Segur que tomba, tomba, tomba !
Ben corcada deu ser ja.
Si tu l'estires fort per aquí
I jo l'estiro fort per allà,
Segur que tomba, tomba, tomba
I ens podrem alliberar.

Luis Llach. *L'estaca*. 1968

Changements climatiques, menaces sur la biodiversité, pics pétrolier et gazier, fortes disparités de consommations de ressources qui se traduisent en termes d'inégalités de développement entre le Nord et le Sud, mais aussi au cœur-même de nos pays (augmentation de la précarité énergétique, par exemple)... Les enjeux écologiques et énergétiques sont complexes et soulèvent d'importants défis qui imposent à nos sociétés des transitions vers des modes de production et de consommation qui soient plus soutenables écologiquement et socialement.

La transition peut ainsi être définie comme « *un processus de transformation dans lequel un système (artificiel ou naturel) change de manière fondamentale son fonctionnement et son organisation* » (Boutaud 2012). Ce changement radical peut s'opérer « *soit parce que des éléments extérieurs ont été modifiés, soit parce que des évolutions et des innovations ont eu lieu au sein du système, obligeant celui-ci à s'adapter* » (Boutaud 2012). Les phénomènes de transition sont souvent difficiles à anticiper et à maîtriser. La gestion de ces transitions est donc un défi majeur pour nos sociétés et fait, depuis quelques années, l'objet d'initiatives citoyennes, mais également, plus récemment, de programmes de recherche, et d'engagements au niveau des politiques nationales et territoriales.

Jeune courant interdisciplinaire, l'étude des transitions vers la durabilité (« *sustainability transitions studies* ») se donne pour objectif « *d'analyser les transformations profondes à long terme des structures socioéconomiques et technologiques des sociétés contemporaines et se propose d'élaborer des méthodes pour « gérer » ou « piloter » les transitions sociotechniques* » (Gendron, Audet 2014).

Courant des « *villes en transition* », porté par des citoyens dans plusieurs pays, engagement des régions dans la transition énergétique, débat national et projet de loi sur la transition énergétique, Stratégie Nationale de transition écologique vers un développement durable 2014-2020 (SNTEDD)) : différents acteurs se mobilisent ainsi actuellement sur le sujet. La notion de transition relève t elle du même sens pour tous ? Rien n'est moins sûr. Sous le couvert du même terme, deux approches semblent en particulier s'opposer dans leur philosophie et mise en œuvre :

- Le *mouvement citoyen*, apparu dans les pays anglo-saxons, est issu de la société civile et des mouvements écologistes. Il vise à prendre en compte simultanément la menace des changements climatiques et l'échéance du pic pétrolier. Il ne se contente pas de « *revendiquer* » pour réduire les impacts mais aussi de « *se préparer* » matériellement et psychologiquement aux changements à venir et peut-être déjà là. Mobilisant les notions de résilience et de relocalisation, les « *transitionneurs* », souvent proches du mouvement altermondialiste, seraient porteurs d'un nouveau projet « *d'émancipation sous contrainte* » (Boutaud 2012).

- Les stratégies et débats nationaux, principalement portés par les acteurs publics, reposent surtout sur les innovations des systèmes sociotechniques qui sont considérées comme le moteur principal de transformation des sociétés humaines (Boutaud 2012).

L'hypothèse à la base de nos perspectives de recherches est que les acteurs des différents niveaux décisionnels (du citoyen à l'Etat) ont besoin d'indicateurs pour les guider dans les démarches de transition qu'ils mettent en œuvre[20]. Les pistes de recherche que nous allons présenter ci-après se situent donc dans une perspective d'évaluation pour guider des transitions vers des modèles plus soutenables.

Au niveau international, la Conférence de Rio sur le développement durable (Rio+20) qui s'est tenue à Rio de Janeiro du 20 au 22 juin 2012, a confirmé que la mise en œuvre de nouveaux outils de mesures et d'indicateurs était nécessaire non seulement pour représenter les objectifs en termes de développement durable et de lutte contre la pauvreté, mais également pour susciter l'action. Si les indicateurs sont des outils nécessaires pour informer les décisions politiques, ils doivent également fournir des miroirs pour guider la société sur le chemin vers « *un environnement stable et une société équitable et économiquement équilibrée* » (Bassi, Fula 2012). Les indicateurs doivent toutefois reconnaître le fait que plusieurs chemins sont possibles selon les ressources, priorités et politiques des différents pays (Bassi, Fula 2012). Dans ce cadre, l'UNEP a proposé un guide pratique visant à donner un cadre aux différents pays pour développer leur propre système d'indicateurs. Les trois thèmes suivants ont ainsi été proposés par l'UNEP (Bassi, Fula 2012) :

- Les indicateurs pour les questions et objectifs relatifs à l'environnement (Bassi, Fula 2012)
  - Le changement climatique - les émissions de carbone et la part d'énergies renouvelables ;
  - La gestion des écosystèmes - Les forêts et le stress hydrique ;
  - L'utilisation efficace des ressources - Energie, matières et productivité de l'eau ;
  - Produits chimiques et gestion des déchets - Collecte des déchets, recyclage et réutilisation.

[20] Notons toutefois que nous sommes bien conscients que la mise en place de nouveau système d'évaluation ne constitue absolument pas une condition suffisante à la mise en place effective des transitions espérées !

- Indicateurs pour les interventions politiques (Bassi, Fula 2012)
  - Investissement vert ;
  - Réforme fiscale verte ;
  - Prix des externalités et valorisation des services écosystémiques ;
  - Investissements « *verts* » - Dépenses dans l'approvisionnement écoresponsable.

- Les indicateurs d'impact des politiques sur le bien-être et l'équité (Bassi, Fula 2012)
  - Emploi - Construction, exploitation et gestion, revenus générés;
  - Richesse totale - Valeur des stocks de ressources naturelles, taux d'alphabétisation;
  - Accès aux ressources - Accès à l'énergie moderne, à l'eau et à l'assainissement;
  - Santé - Niveau de produits chimiques nocifs dans l'eau potable, le nombre de personnes hospitalisées en raison de la pollution de l'air.

Au niveau de l'Etat Français, le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie reconnaît, dans son projet de stratégie nationale de transition écologique vers un développement durable que « *engager la transition écologique, c'est adopter un nouveau modèle économique et social, un modèle qui renouvelle nos façons de consommer, de produire, de travailler, de vivre ensemble* » (Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie 2014a).

La « *Stratégie nationale de transition écologique vers un développement durable 2014-2020 (SNTEDD)* » est en cours d'élaboration afin de succéder à la Stratégie nationale de développement durable 2010-2013. Elle propose, pour les six années à venir, des orientations et des priorités pour répondre aux enjeux environnementaux (changement climatique, perte de biodiversité, rareté des ressources, risques sanitaires environnementaux) et à leurs conséquences économiques et sociales. Des indicateurs de suivi sont en cours de définition pour mesurer l'ambition et l'impact des actions et politiques menées en faveur de la transition écologique. Ils seront adossés à la SNTEDD. Cette dernière a été construite à partir de l'identification de 4 enjeux écologiques (le changement climatique, la perte accélérée de biodiversité, la raréfaction des ressources et la multiplication des risques sanitaires environnementaux) qui se déclinent en 9 axes, eux-mêmes déclinés en 34 priorités (Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie 2014a)

- Développer des territoires durables et résilients
- S'engager dans l'économie circulaire et sobre en carbone
- Prévenir et réduire les inégalités environnementales, sociales et territoriales
- Inventer de nouveaux modèles économiques et financiers
- Accompagner la mutation écologique des activités économiques
- Orienter la production de connaissances, la recherche et l'innovation vers la transition écologique
- Eduquer, former et sensibiliser pour la transition écologique
- Mobiliser les acteurs à toutes les échelles
- Promouvoir le développement aux niveaux européen et international

Dans ce cadre, le Conseil National de la Transition Ecologique (CNTE) a demandé à une commission spécialisée de proposer des indicateurs permettant de comparer les territoires (au niveau international et pouvant se décliner à des niveaux régionaux, voire infrarégionaux), de développer un corpus d'indicateurs permettant de disposer d'un certain historique. Cet exercice devrait permettre d'identifier des besoins en indicateurs non calculés jusqu'ici (Moreau 2014).

Un des enjeux majeurs de la réussite de ces initiatives résidera en la capacité de l'Etat d'impliquer les citoyens dans la transition. La capacité de l'Etat à réussir cet enjeu laisse perplexes certains acteurs territoriaux qui semblent pourtant être des acteurs clés pour décliner les objectifs nationaux en actions concrètes : « *Si on peut se féliciter que l'Etat se dote enfin d'une réelle stratégie, il faut aujourd'hui malheureusement constater que le texte actuellement préparé ignore superbement les territoires* » (Clergeau 29/04/2014). Le lien entre stratégies nationales, actions concrètes sur les territoires et implications des acteurs locaux et citoyens nous semble donc être un enjeu majeur. Ce lien nous semble présenter des perspectives intéressantes en termes de recherche pour l'évaluation.

Le thème de l'énergie fait l'objet d'une attention particulière dans ce contexte. Les actions dans ce domaine se déclinent sous le terme générique de « *transition énergétique* ».

De novembre 2012 à mai 2013, le « *Débat national sur la transition énergétique* » s'est déroulé en trois phases :

- une phase d'information, menée de novembre à décembre 2012 ;
- une phase de participation du grand public, de janvier à avril 2013, réalisée avec l'appui d'un site internet dédié ainsi qu'avec l'appui des régions qui ont organisé des conférences régionales de l'énergie réunissant les différents acteurs territoriaux de l'énergie ;
- une phase de synthèse et d'élaboration de recommandations.

Au niveau de sa mise en œuvre, le débat était animé par quatre instances : un comité national d'organisation, une commission nationale composée des six collèges invités à la Conférence environnementale (État, collectivités territoriales, employeurs, salariés, associations et parlementaires), un comité d'experts scientifiques et un comité citoyen.

Suite à ce débat national, un projet de « *loi de programmation pour un nouveau modèle énergétique* » a été publié en juin 2014, puis voté par l'assemblée nationale en octobre 2014. Il se fixe pour objectifs (Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie 2014c) de :

- réduire les émissions de gaz à effets de serre de 40 % en 2030 par rapport à la référence 1990,
- réduire la consommation énergétique finale de 50 % en 2050 par rapport à la référence 2012,
- réduire la consommation énergétique finale des énergies fossiles de 30 % en 2030 par rapport à la référence 2012,
- porter, en 2030, la part des énergies renouvelables à 32 % de la consommation finale brute d'énergie,
- porter la part du nucléaire dans la production d'électricité à 50 % à l'horizon 2025.

Ce débat et le projet de loi qui l'a suivi, ont suscité de nombreuses réactions, parfois opposées, au sein de la société civile. Inévitablement, la perspective de changements à venir inquiète les acteurs aujourd'hui dominants, qui ne manquent pas de défendre leurs intérêts (Pinaud 2014). A l'inverse, les ONG environnementales regrettent que les objectifs ne soient pas assez ambitieux en termes, par exemple, de réduction de la part de la production nucléaire et d'augmentation des énergies renouvelables au sein du mix électrique français (voir par exemple (Bringault 2014)).

Quelles soient énergétiques ou écologiques, les transitions posent ainsi de nombreuses questions tant scientifiques qu'économiques, politiques et démocratiques. Elles impliquent de sortir de démarches thématiques et cloisonnées, et font émerger des liens entre différentes composantes qui doivent être prises en compte simultanément. Si les liens entre aspects écologiques, économiques et sociaux apparaissent souvent clairement, des liens entre différents thèmes de préoccupation, y compris écologiques, émergent également. Par exemple, les interconnexions entre l'énergie et l'eau font aujourd'hui l'objet d'un intérêt croissant. De nombreuses connexions[21] devraient ainsi faire l'objet de recherches plus approfondies pour mieux en cerner les interrelations : la connexion énergie-eau, la connexion énergie-pauvreté, la connexion climat-culture, la connexion biodiversité-résilience, la connexion énergie-justice (Kammen, 2013).

Pour revenir plus modestement à notre domaine de recherche, de nombreuses perspectives se présentent dans le domaine de la comptabilité environnementale dans une optique de transition vers des modes de production et de consommation plus responsables et soutenables. Du fait de la mondialisation des systèmes de production, les approches d'évaluation environnementale basées sur la consommation gagnent aujourd'hui en crédibilité scientifique et politique (paragraphe 3.2.1). L'accessibilité plus grande à des données qui n'étaient jusqu'alors pas disponibles publiquement, ainsi que des possibilités aujourd'hui étendues en termes de traitement, tant quantitatif que qualitatif des données, ouvrent de nombreuses perspectives de recherche. Parmi les différentes méthodes de comptabilité environnementale, les méthodologies d'analyse de cycle de vie, de bilan des émissions de gaz à effet de serre et d'empreinte écologique retiennent l'attention de nos travaux de recherche depuis plus de 10 ans. Ces méthodologies suscitent aujourd'hui un intérêt grandissant aux yeux des acteurs de terrain (entreprises, collectivités territoriales). Elles présentent également des limites et verrous scientifiques qui nous paraissent présenter d'intéressantes opportunités de recherche.

Outre le développement des méthodes de comptabilité environnementale en vue de les appliquer à de nouveaux systèmes complexes étudiés actuellement au sein de notre équipe de recherche (logistique urbaine, approche produit service, par exemple), nous envisageons de dégager des pistes de recherche au niveau même des méthodologies d'évaluation environnementale. Ainsi, nous proposons ci-après trois axes de recherche ainsi qu'un axe de réflexion transversal, dans le cadre de nos perspectives de recherche.

[21] Notre traduction de « nexus »

4.1 Premier axe de recherche : Application des méthodes de comptabilité environnementale à des systèmes complexes

« *Complexus signifie ce qui est tissé ensemble ; en effet, il y a complexité lorsque sont inséparables les éléments différents constituant un tout (comme l'économique, le politique, le sociologique, le psychologique, l'affectif, le mythologique) et qu'il y a tissu interdépendant, interactif et inter-rétroactif entre l'objet de connaissance et son contexte, les parties et le tout, le tout et les parties, les parties entre elles. La complexité, c'est, de ce fait, le lien entre l'unité et la multiplicité. Les développements propres à notre ère planétaire nous confrontent de plus en plus souvent et de plus en plus inéluctablement aux défis de la complexité.* »

E. Morin, *Les sept savoirs nécessaires à l'éducation du futur*, 1999

Notre premier axe de recherche, dans la lignée de nos travaux passés, a pour objectif d'expérimenter l'utilisation des méthodes de comptabilité environnementale à des systèmes complexes pour lesquels les méthodes n'ont pas été conçues originellement. En particulier, un des domaines d'application que nous souhaitons approfondir est celui des transports. En effet, les déplacements de personnes et de marchandises sont responsables d'une part importante des impacts environnementaux en France (Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie 2014b), et en particulier à l'échelle de la ville (Nicolas, Verry & Longuar 2012). L'évaluation environnementale de la mobilité, actuelle et à venir, est ainsi un enjeu important pour les acteurs publics afin, d'une part, de dégager un diagnostic des impacts générés actuellement par un système de déplacements urbains, mais également d'identifier les conséquences potentielles en termes d'impacts environnementaux de l'évolution de ce système de déplacements.

Les méthodes d'évaluation environnementale des transports, utilisées majoritairement aujourd'hui, sont très abouties soit, d'un côté, sur les nuisances et pollutions générées lors de la construction (études d'impacts) ou de l'utilisation des infrastructures (voir par exemple (Jullien, François 2006)), soit sur l'estimation des émissions directes de polluants atmosphériques, générées par les déplacements (voir par exemple les travaux des associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA de la région Rhône Alpes 2010). Il nous semble intéressant de développer une réflexion sur l'ensemble du cycle de vie de la mobilité, incluant simultanément les impacts environnementaux générés par la phase d'usage des moyens de transport (c'est-à-dire les déplacements eux-mêmes) mais également les phases situées en amont ou en aval, tant pour les infrastructures que pour les véhicules.

Ce questionnement s'inscrit dans la continuité de plusieurs travaux portant sur le domaine des transports : projets sur la mise en place d'un système de management environnemental sur la mise à 2*2 voies de la RN7- RN 82, thèses de I. El Bouazzaoui (El Bouazzaoui 2008) et

de S. Le Féon (Le Féon 2014). En particulier, S. Le Féon a pu montrer que les impacts amont ne sont pas négligeables : si, pour les modes de transports à combustion interne, les émissions directes liées à la phase d'usage des véhicules représentent entre 80 et 90 % des émissions globales, pour un mode de transport tel que le tramway, nécessitant une forte infrastructure et fonctionnant à l'électricité, cette phase ne représente plus que 30 % de l'impact global.

Un des domaines d'application sur lequel porteront en particulier nos recherches est la logistique urbaine. En effet, un des objectifs scientifiques de l'équipe PIESO (Performances Industrielles et Environnementales des Systèmes et des Organisations), dont nous faisons actuellement partie, consiste à développer des interfaces entre sciences de l'environnement et génie industriel. Ces interfaces se situent plus particulièrement sur deux thèmes qui font l'objet de projets de recherche au sein de l'équipe : la logistique urbaine et les systèmes produits services. L'hypothèse directrice des travaux concernant la logistique urbaine est qu'une meilleure organisation (probablement plus centralisée) du transport des marchandises en ville permettrait la réduction des impacts environnementaux. Nos apports à ces travaux viseront à tester cette hypothèse en proposant des méthodes d'évaluation environnementale, basées sur la démarche d'analyse de cycle de vie, qui pourraient être intégrées et interfacées à des outils, développés dans le cadre de travaux en Génie industriel, visant à simuler les conséquences, en termes de flux de véhicules, par exemple, de la mise en place de solutions logistiques.

Ces perspectives de recherche s'inscrivent en particulier dans le cadre du projet de recherches ANNONA (Aide à la décisioN pour le developpemeNt d'un espace lOgistique urbaiN durAble) financé par l'Agence Nationale de la Recherche, de 2014 à 2017. Ce projet, porté par notre équipe (composante de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne de l'UMR 5600 Environnement, Villes et Sociétés), rassemble un consortium interdisciplinaire regroupant également des chercheur(e)s du Laboratoire Ingénierie Circulation Transports (Unité mixte de l'IFSTTAR et l'ENTPE), du Laboratoire Economie des Transports, de l'Universidad de La Sabana (Colombie), ainsi que des experts de l'Agence d'urbanisme de la région stéphanoise EPURES, de Saint-Etienne Métropole et de la Fédération Nationale des Transports Routiers de la Loire (FNTR 42). Son objectif est d'aider les acteurs territoriaux à identifier comment et où aménager les infrastructures et les espaces logistiques dans une vision durable de la ville. Il a plus particulièrement pour objectif de développer une première version d'un prototype informatique, de type Web SIG (Système d'Information Géographique mis à disposition sur Internet), qui visera à modéliser puis évaluer a priori, les différents impacts économiques, environnementaux et sociaux de bouquets d'actions innovantes de logistique urbaine (espaces logistiques urbains, changements de véhicules, contraintes réglementaires, par exemple). Nous contribuerons plus particulièrement au développement des méthodes d'évaluation environnementale de ce prototype. A cette fin, trois étapes sont envisagées :

- Synthèse bibliographique sur l'évaluation environnementale de la logistique urbaine et le transport des marchandises en ville. Une attention particulière sera apportée aux démarches relevant de l'analyse de cycle de vie ainsi qu'au thème de la mobilité électrique qui pose des enjeux spécifiques en termes d'évaluation environnementale.
- Définition et conception, à partir de cet état de l'art et d'entretiens avec les acteurs territoriaux concernés par le transport des marchandises en ville, des méthodes d'évaluation a priori des impacts des actions innovantes en termes de logistique urbaine. En particulier, une attention particulière sera portée à l'évaluation (avec une approche de type analyse de cycle de vie) des solutions relevant de la mobilité électrique.
- Implémentation (en coopération avec deux ingénieurs développement informatique) dans le prototype des méthodes d'évaluation retenues.

La notion d'évaluation *a priori* mérite d'être précisée. Elle peut se rapprocher de l'évaluation *ex ante*, pouvant être définie comme une « *évaluation effectuée avant la mise en œuvre d'une intervention publique* » (Centre d'Évaluation, de Documentation et d'Innovation Pédagogiques (CEDIP) 2006). L'évaluation *ex ante* consiste en une analyse approfondie du contexte à l'origine de l'intervention publique, du contenu de cette intervention, de ses conditions de mise en œuvre et de ses réalisations, résultats et effets attendus (Centre d'Évaluation, de Documentation et d'Innovation Pédagogiques (CEDIP) 2006). L'évaluation a priori est quant à elle une démarche plus simple visant à estimer les bénéfices (ou dommages) potentiels d'une action possible. Afin d'identifier ces bénéfices ou dommages, nous envisageons de nous baser sur trois sources de données complémentaires :

- La littérature concernant le retour d'expériences portant sur des actions similaires mises en place dans d'autres villes.
- Faute de littérature et si les actions envisagées sont mises en place à titre expérimental à Saint-Etienne, nous étudierons les conséquences de ces actions sur le cas stéphanois.
- Enfin, en l'absence de littérature et d'expérimentation de terrain, nous pourrons travailler avec les collègues de génie industriel pour modéliser les impacts potentiels, en termes de réduction de flux routier, par exemple, des actions proposées.

En termes de choix méthodologiques d'évaluation des impacts environnementaux, deux approches sont complémentaires en termes d'évaluation environnementale des trafics routiers :

- L'évaluation des émissions directes des polluants et des nuisances liées au trafic routier (à partir de la base de données COPERT 4, par exemple, évoquée ci-après).
- La comptabilité environnementale, en particulier basée sur des méthodologies relevant de l'analyse de cycle de vie, qui agrège les flux d'émissions de polluants sur l'ensemble du cycle de vie, c'est-à-dire prenant en compte la fabrication des infrastructures et des véhicules, la fabrication du carburant ainsi que la fin de vie des véhicules.

Ces deux approches nous semblent nécessaires et complémentaires dans le cadre de l'évaluation de systèmes de transports en général et, plus particulièrement, de solutions de logistique urbaine. En effet, les décideurs souhaiteront estimer l'impact des émissions liées au transport des marchandises sur leur territoire afin d'avoir une idée de l'impact de la solution proposée en termes d'amélioration potentielle de la qualité de l'air de la ville. D'un autre côté, si des scénarios alternatifs sont proposés concernant, par exemple, l'utilisation de véhicules électriques, il nous semble indispensable d'envisager les impacts environnementaux globaux des scénarios proposés afin d'estimer les transferts de pollutions risquant d'être générés.

Les estimations des émissions directes de polluants pourront se faire grâce à la méthode COPERT 4 (COmputer Programme to Calculate Emissions from Road Transport) agréée par l'agence européenne de l'environnement et par l'ADEME. Cette méthode est également cohérente avec les lignes directrices du GIEC pour le calcul des émissions de gaz à effet de serre. A partir des données de trafic (flux et vitesses associées) qui seront estimées par le modèle proposé, les émissions de polluants (NOx, PM, COVNM, CH4 ainsi que les consommations de carburant) pourront être estimées en utilisant les bases de données de COPERT 4 qui recensent les émissions unitaires des différents véhicules (VUL et PL en particulier), en fonction de la réglementation en date lors de leur mise en service et des normes EURO qui s'y appliquent, de leur motorisation (essence ou gasoil), et de la composition générale du parc empruntant la voie considérée. Cette approche pourra a priori estimer les émissions générées sur les différents tronçons routiers de la ville. Une estimation géolocalisée des émissions de polluants semble donc possible. Deux catégories de sources d'émission nous paraissent intéressantes à localiser :

- celles où ont lieu les émissions (par tronçon de route, par exemple) sont particulièrement pertinentes pour les émissions de polluants ayant un impact local,
- les localisations des entités à l'origine des émissions (lieu d'habitation des ménages ou adresse des entreprises à l'origine (lieu d'émission ou de destination) des déplacements des marchandises.

En ce qui concerne l'approche par comptabilité environnementale, la méthode développée sera basée sur la méthode d'évaluation par analyse de cycle de vie de la mobilité urbaine développée par S. Le Féon (Le Féon 2014). L'approche consistera à estimer a priori les différents flux transportés par différents types de véhicules en tonnes.km puis d'appliquer des facteurs de caractérisation issus de bases de données dont Ecoinvent2. Les résultats seront ici globaux sur l'ensemble de la ville et non géolocalisés par tronçon. Cependant, ils pourront porter sur un plus vaste champ d'indicateurs (émissions de gaz à effet de serre, consommations d'énergie primaire, toxicité humaine, déchets solides, par exemple), l'objectif associé étant d'essayer d'identifier les risques de transferts de pollutions pouvant être générés par certaines solutions technologiques.

Ce travail de recherche fera l'objet d'un contrat pour une post-doctorante que nous encadrerons, financé dans le cadre du projet ANR ANNONA. Les attentes de ce post-doctorat se situent à deux niveaux. D'une part, et afin de répondre aux attentes des sciences de génie industriel dans lequel est positionné ce projet, des indicateurs environnementaux

opérationnels devront être implémentés dans l'outil développé dans le cadre du projet. Mais également, d'autre part, l'objectif est de faire une analyse approfondie des enjeux environnementaux et sociaux de la logistique urbaine, dans l'objectif de sélectionner les indicateurs qui soient réellement pertinents pour les acteurs. Cette analyse se fera à travers des entretiens avec des acteurs de terrains pour identifier les enjeux et indicateurs à prendre en compte, ainsi que les limites de l'outil développé par ailleurs dans le cadre du projet.

Une collaboration a également débuté avec le LET (Laboratoire d'Economie des Transports). Notre premier projet commun a pris la forme du co-encadrement d'un étudiant de master (Cyrille François), financé par le pôle de compétence LUTB (Lyon Urban Truck and Bus) afin de contribuer à améliorer les modules d'évaluation environnementale de la plate-forme SIMBAD (Simuler les Mobilités pour une Agglomération Durable) du LET (Nicolas 2010). Actuellement, les modules d'évaluation environnementale intégrés dans SIMBAD estiment les émissions directes de CO2, NOx, particules et hydrocarbures. L'objectif de ces perspectives de recherche serait d'élargir la vision proposée par cette évaluation environnementale en intégrant, dans la suite des travaux de S. Le Féon, une méthode d'évaluation basée sur la méthodologie d'analyse de cycle de vie qui permet d'estimer non seulement les émissions directes, mais également les émissions indirectes associées à la mobilité urbaine. Cette méthode nous paraît particulièrement pertinente dans le cadre du développement de technologies telles que celles relevant de l'électro-mobilité, dont les impacts ne se situent pas sur le lieu d'utilisation des véhicules, mais en amont, lors de la fabrication des véhicules (batteries, par exemple) ou de l'électricité. Les indicateurs couramment considérés aujourd'hui (émissions de gaz à effet de serre, par exemple) ne sont toutefois pas forcément représentatifs des impacts générés par la production de l'électricité. Une réflexion sera donc menée sur les indicateurs pertinents face aux différents enjeux environnementaux que pose la mobilité urbaine : consommations énergétiques globales générées, déchets dangereux (associés aux batteries, par exemple), toxicité et écotoxicité (Daly), usage des sols, etc.

4.2 Deuxième axe de recherche : vers une amélioration des outils d'évaluation existant dans une perspective d'aide à la réflexion voire à la décision

Mais au bout de cent ans des gens se sont levés
Et les ont avertis qu'il fallait tout stopper
Mais ils n'ont pas compris cette sage prophétie
Ces hommes-là ne parlaient qu'en termes de profits

Les cowboys fringants. *Plus rien*. 2004

Cet axe se situe à **l'interface entre la recherche en évaluation environnementale et l'aide à la réflexion, voire au passage à l'aide à la décision** dans une optique de transition vers des modes de production et de consommation plus responsables. Aujourd'hui, de nombreuses perspectives se présentent du fait, d'une part, de l'accessibilité plus grande à des données qui n'étaient pas disponibles auparavant, ainsi que des possibilités aujourd'hui étendues en termes de traitement, tant quantitatif, que qualitatif des données. Sur le plan quantitatif, de nombreux travaux de recherche visent aujourd'hui à estimer l'incertitude inhérente aux résultats de l'évaluation, et en particulier des conséquences de cette incertitude en termes d'aide à la décision. Sur le plan qualitatif, le développement et la vulgarisation des différents types d'outils de conceptions graphiques, sonores, vidéo et multimédia, constituent de nombreux types de représentation pédagogique des enjeux environnementaux : représentations graphiques ou cartographiques diverses, animations vidéo et sonores de data visualisation[22], etc.

4.2.1 Quelle cohérence des différentes méthodologies d'évaluation des pressions environnementales, selon les différents niveaux ?

Au niveau des méthodologies d'estimation des impacts, une piste de recherche se dégage afin d'améliorer, voire créer les **interfaces entre les évaluations aux différents niveaux possibles d'évaluation** (du micro au macro). En effet, nous avons montré l'intérêt des approches d'évaluation de type "empreinte", basée sur les consommations finales des systèmes étudiés (territoire ou organisation).

Nous avons vu au paragraphe 3.2.8 que deux grandes familles de méthodologie d'estimation d'empreintes (écologique, carbone, matière ou eau) se distinguent : les approches « *bottom up* » ou par composantes ; et les approches « *top down* » ou composées.

[22] Voir par exemple l'œuvre de Brooke Brisbois représentant l'épuisement des diverses ressources naturelles : the Stock Check -http://vimeo.com/30677876

- Inspirée des méthodologies d'analyse de cycle de vie, la première approche (« *bottom up* » ou par composantes) a été développée, pour les estimations d'empreinte écologique en particulier, à la fin des années 1990, notamment sous l'impulsion de bureaux d'études britanniques (Best Foot Forward notamment). Le principe consiste à estimer l'empreinte écologique de chaque type de biens ou de services consommés par une population donnée, puis de sommer toutes ces empreintes (Boutaud, Gondran 2011). Ainsi, l'empreinte d'un système (de type produit ou organisation), à l'échelle "micro", est estimée par des méthodes basées sur l'analyse de cycle de vie, selon l'équation générale présentée ci-dessous.

$$E = \sum(Ci * Fi)$$

Où E est la matrice des impacts environnementaux.

C_i sont les différentes consommations de biens et services du système étudié

F_i sont les facteurs de caractérisation (aussi dits « *facteurs d'émission* » dans le cadre du bilan des émissions de gaz à effet de serre) de chaque unité de consommation C_i.

$1 \leq i \leq n$ où n est le nombre de postes de consommation pris en compte.

Il faut donc avant tout connaître les impacts environnementaux d'une multitude de produits et services à partir de leur analyse de cycle de vie (ACV) – ce qui suppose de disposer d'une base de données comprenant des centaines voire des milliers d'études d'ACV. Puis il faut ensuite faire la somme des empreintes des produits consommés sur le territoire – ce qui suppose également de disposer des données relatives à la consommation finale de chaque bien et service.

Ces analyses ont l'avantage d'être détaillées et flexibles. Les facteurs de caractérisation F_i ont ainsi, finalement, un rôle de pondération des différentes consommations. Cette pondération est implicitement considérée comme "objective" par les personnes qui réalisent de telles études et par leurs utilisateurs. En effet, ces facteurs sont généralement obtenus dans des bases de données (de type Ecoinvent, Base carbone ou la récente base Impacts® publiée par l'ADEME) ou dans la littérature. Ils sont donc supposés représenter "objectivement" l'impact environnemental associé à la fabrication (et au transport jusqu'à son lieu d'utilisation) des différents biens de consommation. Cependant, cette pondération souffre également de nombreuses lacunes :

- Les périmètres précis des facteurs de caractérisation utilisés sont rarement connus de leurs utilisateurs (et d'ailleurs rarement disponibles dans les bases de données qui les proposent).
- Tous les biens et services consommés ne peuvent être comptabilisés de manière exhaustive.
- Certains doubles comptages sont possibles (voire inévitables) car il est difficile de s'assurer que les périmètres des analyses de cycle de vie (ACV) de chaque produit et service pris en compte ne se chevauchent pas.
- Les calculs restent imprécis, car on ne peut pas connaître exactement les impacts environnementaux liés à la fabrication et à l'acheminement de chaque

item consommé par une population donnée. Par exemple, un même type de produit (ex. un ordinateur), mais de marques ou spécifications différentes, peut avoir des impacts environnementaux très variables selon son origine, les choix technologiques, les lieux, matériaux et processus de sa fabrication. Dans certains cas, pour un type de consommation donné, une seule étude est disponible. Le facteur de caractérisation choisi sera donc celui de l'étude disponible. Mais ce facteur peut ne pas être du tout représentatif du bien effectivement consommé, ou de sa filière de production. Cela est mis en évidence lorsque plusieurs études d'analyse de cycle de vie sont disponibles pour des biens ou services similaires. Ces études peuvent parfois aboutir à des résultats (et donc à des facteurs de caractérisation) très différents (voir (EL BOUAZZAOUI 2008) et (Moreau 2012) par exemple).

Ainsi, des choix méthodologiques forts, mais souvent implicites, résident dans la sélection des facteurs utilisés, soit au niveau de la base de données qui met à disposition ces facteurs de caractérisation, soit au niveau de l'utilisateur qui les sélectionne (Gondran 2012).

Notons cependant, dans cette perspective, une avancée récente notable. En effet, dans le cadre de la mise en place de l'étiquetage environnemental, l'ADEME vient de rendre publique la Base IMPACTS®[23], une base des données environnementales nécessaires au calcul de l'impact environnemental des produits de grande consommation. Elle est notamment destinée à servir de base de données génériques d'inventaire à utiliser obligatoirement dans le cadre de l'affichage environnemental des produits de grande consommation mis en place par la Loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement, dite «*Grenelle 2*». La Base IMPACTS® s'enrichira progressivement de données complémentaires fournies par les industriels.

Une approche alternative qui se développe actuellement, tant en termes de publications scientifiques que d'outils utilisables de façon opérationnelle est **l'analyse des tableaux entrées sorties** (analyse E/S ou *input – output analysis*). Elle a notamment été développée par Hertvich et Peters pour le calcul d'empreinte carbone des nations (Hertwich, Peters 2009) et étendue à l'empreinte écologique par le *Stockholm Environment Institute* (SEI) puis à l'empreinte matière (Wiedmann et al. 2013).

Les *matrices Input / output* (ou *tableaux entrées-sorties* en Français (TES)), proposées par l'économiste Wassili Leontief (1930), avaient initialement pour objectif de représenter, dans la comptabilité nationale, les échanges interindustriels puis les échanges de biens et services à l'intérieur d'une économie. Leur principe est donc d'inventorier les achats effectués par chaque secteur d'activité auprès de chaque autre secteur. Il s'agissait initialement d'identifier les interdépendances entre les différents secteurs d'activité. Aujourd'hui, grâce aux capacités de calculs informatiques qui se sont démultipliées, des modèles mixtes économiques-environnementaux utilisent l'analyse E/S pour recenser les impacts environnementaux

[23] Accessible gratuitement sur http://www.base-impacts.ademe.fr/

directs et indirects des activités industrielles tout au long de la chaîne de production, ou pour répartir ces impacts sur les différentes catégories de consommation finale. L'analyse E/S peut donc être utilisée pour répartir les impacts environnementaux (empreinte écologique, ou carbone, mais également émissions de polluants atmosphériques, entre autres) entre les différentes activités de production, ou entre les différentes catégories de consommation finale.

La combinaison des comptes d'émissions polluantes avec les TES permet d'estimer les émissions qui sont associées aux différents produits et composantes de la demande finale. Ainsi, par exemple, l'approche ***Namea (National Accounting Matrix including Environmental Accounts)*** consiste à combiner le tableau entrées-sorties (TES) de la comptabilité nationale avec des comptes environnementaux (physiques) ventilés par activités économiques. Le rapprochement entre TES et comptes environnementaux par branches vise à permettre l'étude des responsabilités respectives des différentes activités économiques en termes de pression environnementale. C'est cette approche qui a été utilisée par J.L. Pasquier pour son rapport « *CO_2 et activités économiques de la France - Tendances 1990-2007 et facteurs d'évolution* » (Pasquier 2010) (voir le schéma ci-après).

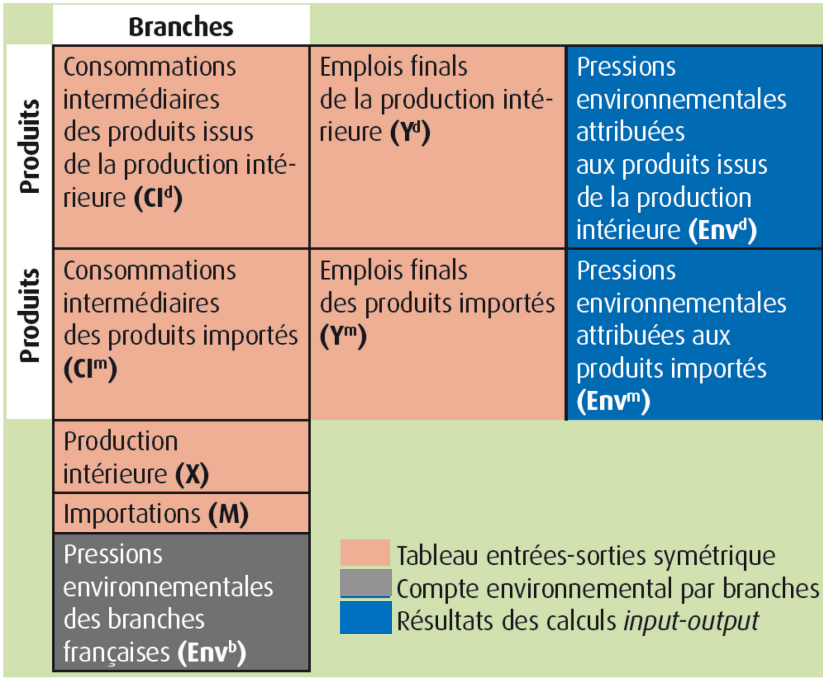


Figure 38. Représentation de la méthodologie de calcul des analyses input-output étendues à l'environnement (Pasquier 2010)**.**

Les branches sont classées selon la nomenclature NAF des activités industrielles tandis que les catégories de produits peuvent être regroupées selon différentes nomenclatures, dont la nomenclature COICOP des consommations individuelles.

Se développent également les ***analyses multi-régionales d'entrées sorties*** (MRIO pour *Mutli-regional Input output matrix*) qui croisent à la fois les échanges entre secteurs, mais aussi les échanges d'un territoire donné avec les secteurs industriels des grandes régions du monde

(Asie, Amérique, etc.). Les analyses Multirégionales entrées - sorties (MRIO) sont de plus en plus utilisées pour analyser les conséquences environnementales de la consommation et des échanges internationaux, que ce soit pour estimer les émissions de gaz à effet de serre, l'utilisation des sols ou de l'eau. C'est cette méthode qui est utilisée, par exemple, par Hertvich et Peters pour estimer que 22 % des émissions de gaz à effet de serre mondiales sont liées à la production de biens échangés sur le marché international. Ainsi, bien qu'associés à des méthodes de calcul complexes, les tableaux multirégionaux d'entrées sorties, inventoriant les échanges internationaux entre pays, promettent d'intéressantes perspectives pour représenter les aspects mondiaux de nos modes de consommation (Hertvitch, Peters 2010).

Du fait des nomenclatures actuelles, les méthodes par analyse entrées sorties ne considèrent que des catégories de produits assez larges. Il est donc considéré que tous les produits d'une même catégorie sont composés de façon identique. Ainsi, il est par exemple supposé que la quantité de consommation intermédiaire de plastique pour la production d'une automobile de loisir est la même que pour celle de véhicules de livraison. D'autre part, les TES ne sont aujourd'hui disponibles (auprès d'Eurostat et l'OCDE) que pour un nombre limité de pays. Or cette analyse nécessiterait en théorie que tous les pays avec lesquels la France a des échanges internationaux aient mis en place des TES, ce qui n'est pas le cas. En effet, si les TES de l'Allemagne, l'Italie, la Belgique sont disponibles et représentent près de 40 % des importations françaises en provenance de l'Europe, pour le reste des importations européennes, seule la moyenne appliquée à l'UE27 peut être utilisée. En ce qui concerne les importations hors Europe, il est plus difficile de trouver des données homogènes. L'OCDE commence à proposer en ligne des données, mais les TES sont dans les devises nationales, ce qui rend difficiles les équivalences. Pour pallier cette carence, il est possible d'utiliser des TES européens complets (TES allemand, par exemple) et d'y appliquer l'intensité en C02 propre à chaque pays (sauf pour des pays très nucléarisés tels que le Japon où le TES français peut être utilisé) (Boutaud, Gondran 2011).

Enfin, la plupart des TES sont disponibles seulement en unités monétaires, et non physiques, obligeant à faire des hypothèses sur les proportionnalités entre flux physiques et monétaires (Moran et al. 2009). Ils sont de surcroît disponible, au mieux, à l'échelle nationale et rarement à l'échelle régionale. La descente d'échelle pour les appliquer à un niveau territorial plus fin implique l'utilisation de proxy, plus ou mois élaborés, mais forcément contestables.

Ainsi, du fait des limites de chaque méthodologie, si les méthodes d'évaluation des pressions environnementales sont maintenant bien développées au niveau des organisations ainsi qu'au niveau des territoires (et des populations vivant sur ces territoires), l'interface entre les deux n'est pas assurée : à supposer que toutes les organisations fassent une évaluation de leurs pressions environnementales, les méthodes actuelles n'assureraient pas que la somme des pressions exercées par les différentes organisations d'un territoire donné soit égale à la pression environnementale globale de ce territoire. Cela n'est a priori pas problématique dans le cadre d'une aide à la décision au niveau de chaque organisation. En effet, nous avons vu précédemment que certaines émissions peuvent légitimement être allouées à plusieurs

acteurs car la responsabilité d'une émission donnée peut être attribuée à plusieurs acteurs différents. Cependant, la convergence et la comparabilité des méthodologies d'évaluation aux différentes échelles ne sont aujourd'hui pas du tout assurées car le même type de consommations (alimentation, métaux, par exemple), ne se voient pas affecté d'un même facteur dans le cadre d'une analyse territoriale et dans le cadre d'une analyse au niveau de l'organisation.

On peut prendre ici l'exemple de l'empreinte carbone estimée à l'échelle nationale (voir par exemple les travaux publiés par les services statistiques du Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie (Pasquier 2010)). L'empreinte carbone correspond globalement, au niveau de son idée, au périmètre dit « *scope 3* » (autres émissions indirectes, qui tient compte, entre autres, des émissions liées à l'acheminement et à la fabrication des produits achetés par l'organisation effectuant son bilan) des bilans des émissions de gaz à effet de serre qui sont effectués au niveau de l'organisation, voire au niveau territorial infranational (aussi dits « Bilans Carbone® »). Si les coefficients techniques de conversion entre données statistiques de consommations et émissions de gaz à effet de serre sont calculés par des analyses entrées –sorties pour l'empreinte carbone, les coefficients dits « *d'émissions* » du « Bilans Carbone® » sont estimés à partir d'analyses de cycle de vie. Il n'y a donc a priori aucune concordance méthodologique entre ces deux méthodes… alors que c'est la même grandeur que l'on cherche à estimer, mais à des échelles différentes. L'utilisation simultanée d'analyses de cycle de vie et de tableaux entrées-sorties est une perspective de recherche qui se développe dans quelques publications internationales[24], mais qui est encore peu développée en France. Une des perspectives de recherche que nous proposons serait d'approfondir ce croisement.

Ainsi, si nous avons déjà souligné l'intérêt d'une approche de type "empreinte" ou comptabilité basée sur les consommations, visant à estimer les impacts générés par les consommations finales d'une entité ou d'un territoire donnés, nous avons présenté ci-dessus les limites liées à ces méthodologies. Ce domaine de l'évaluation environnementale nous semble donc présenter de nombreuses perspectives de recherche, stimulées par l'accroissement que l'on peut constater aujourd'hui de la disponibilité des données sur les impacts environnementaux aux différentes échelles. Comme nous l'avons déjà mentionné, ce domaine nous semble ouvrir de nouvelles pistes de réflexion en fournissant aux acteurs une vision plus large de leurs impacts sur l'environnement.

Sur le plan méthodologique, parmi les pistes de développement, deux axes nous semblent ainsi particulièrement pertinents :

---

[24] Voir par exemple K Turner, M Lenzen, T Wiedmann, J Barrett. Examining the global environmental impact of regional consumption activities — Part 1: A technical note on combining input–output and ecological footprint analysis, Ecol.Econ. 62 (2007) 37-44; T Wiedmann, M Lenzen, K Turner, J Barrett. Examining the global environmental impact of regional consumption activities — Part 2: Review of input–output models for the assessment of environmental impacts embodied in trade, Ecol.Econ. 61 (2007) 15-26 et Mattila Tuomas (2012) Any sustainable decoupling in the Finnish economy? A comparison of 2 the pathways and sensitivities of GDP and ecological footprint 2002- 2005, *Ecological indicators*, vol. 16, mai 2012

- la combinaison des méthodologies basées sur les tableaux entrées sorties avec celles basées sur les analyses de cycle de vie,

- la modélisation de l'imperfection des données afin d'estimer la propagation des incertitudes et l'impact de ces imperfections et incertitudes en termes d'aide à la décision.

Le premier axe de recherche nous semble pouvoir être mené dans le cadre du réseau National de Chercheurs en Eco-conception de Systèmes Durables (EcoSD) dont nous faisons partie. En particulier, MINES ParisTech/ARMINES, également membre de ce réseau, a été leader du projet européen IMEA (IMports Environmental Accounting), financé dans le cadre du programme SKEP-Era-net project (Scientific Knowledge for Environmental Protection), qui visait à évaluer le potentiel des méthodes de comptabilité environnementale pour prendre en considération les enjeux liés à la mondialisation et aux impacts environnementaux générés par les échanges internationaux (Blanc et al. 2009). Dans ce cadre, une analyse poussée des différentes méthodes de comptabilité environnementale pouvant être mobilisées pour évaluer les enjeux liés au commerce international a été réalisée.

Les méthodes de comptabilité environnementale ont pour objectif de quantifier les enjeux environnementaux liés aux modes de production, d'échange et de consommation. Elles font actuellement l'objet d'une attention accrue de la part des institutions statistiques en vue de leur introduction progressive dans les cadres officiels d'analyses et de statistiques (Blanc et al. 2009).

Le rapport final du projet IMEA souligne que la prise en compte des biens et services importés et exportés fait l'objet d'une attention croissante sur le plan méthodologique. Le projet IMEA a ainsi eu pour objectif de comparer les forces et faiblesses de différentes méthodes de comptabilité environnementale en vue d'améliorer la qualité de l'information fournie aux décideurs politiques. Ainsi, différentes méthodes de comptabilité environnementale ont été comparées : analyse de cycle de vie, analyse entrées sorties étendue à l'environnement, analyse métabolique des flux (MFA) et empreintes environnementales (empreinte écologique, HANPP (appropriation humaine de la productivité primaire nette) et empreinte eau).

Suite à cette analyse, I. Blanc et al. ont proposé le schéma type ci-après des méthodes visant à représenter la structure de ces méthodes de comptabilité environnementale, les attentes et défis de chacune de leurs étapes (Blanc et al. 2009).

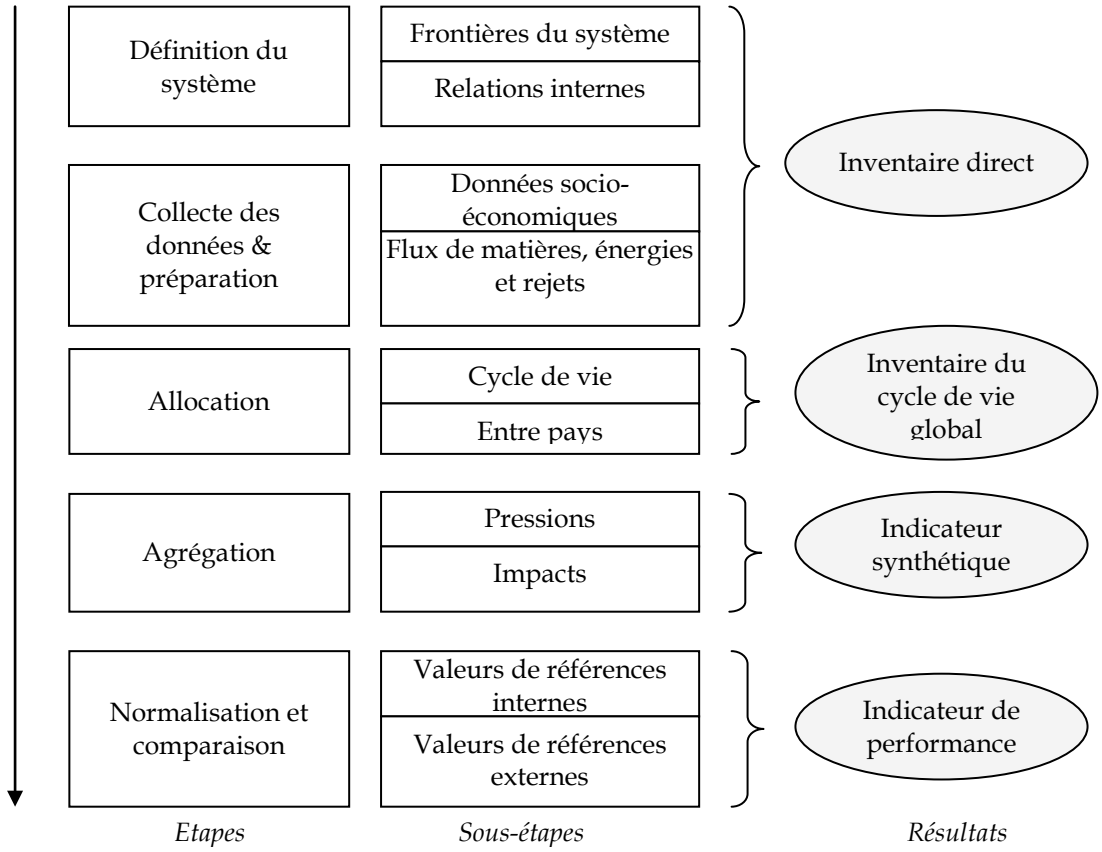


Figure 39. Schéma type des méthodes de comptabilité environnementale (traduit de (Blanc et al. 2009)**)**

I. Blanc et al. (2009) ont également mis en évidence le besoin de recherches supplémentaires portant sur les données et méthodologies, y compris sur la combinaison entre les différentes méthodes afin de renforcer leurs forces et limiter leurs faiblesses. Il est aussi noté le besoin de lignes directrices méthodologiques systématiques reconnaissant, en particulier, le fait que les méthodes de comptabilité environnementale sont, et resteront, basées sur des hypothèses qui doivent être transparentes et acceptées par leurs utilisateurs.

La mondialisation ajoute des défis supplémentaires aux méthodes de comptabilité environnementale du fait des objectifs sous-jacents à la mesure des performances et à la pertinence d'appliquer une vision « *locale en lien avec l'échelle planétaire* ». Aucune méthode existante ne semble réellement répondre à cet enjeu multi-échelle, à l'heure actuelle (Blanc et al. 2009).

I. Blanc et al. soulignent qu'associer analyse de cycle de vie et analyse entrées sorties étendues à l'environnement semble être une opportunité de recherche particulièrement prometteuse, nommée « *analyse hybride* » (Blanc et al. 2009). L'analyse entrées sorties étendue à l'environnement est basée sur une description détaillée des processus de production nationale et des transactions (entre secteurs d'activités et entre grandes régions du Monde) sur une base non seulement économique, mais également environnementale (par exemple en

spécifiant les ressources utilisées par chaque secteur d'activité ou les polluants émis). L'hybridation consiste ainsi à combiner des méthodes de comptabilité environnementale aux tableaux entrées-sorties. Cinq formes d'hybridation ont été identifiées par I. Blanc et al (2009) :

- Les tableaux entrées-sorties peuvent être combinés avec une approche « *bottom-up* » pour étendre les frontières du système et obtenir des résultats plus détaillés.
- Les tableaux entrées-sorties peuvent être étendus aux impacts environnementaux directs de chaque secteur d'activité (par exemple, utilisation de ressources, émissions polluantes, etc.). C'est, par exemple, l'approche choisie par la comptabilité NAMEA (National Accountability Matrix with Environmental Accounts) et le SOeS pour son estimation de l'empreinte carbone de la France (Pasquier 2010).
- Des indicateurs déjà calculés peuvent être combinés avec des tableaux entrées-sorties afin de permettre la déclinaison d'un indicateur à d'autres échelles. Cette méthode est en particulier celle utilisée par le Global Footprint Network pour produire des matrices d'utilisation des sols, propres à chaque pays, déclinant l'empreinte écologique des différents secteurs de consommation selon la nomenclature COICOP. C'est cette approche que nous avons utilisée pour estimer l'empreinte écologique des 8 zones d'études et d'aménagement françaises (Gondran, Boutaud 2013).
- L'analyse entrées-sorties peut être utilisée pour estimer des coefficients de conversion utilisés ensuite dans la méthode de comptabilité environnementale (par exemple : estimation de l'utilisation indirecte des matériaux dans l'analyse métablique des flux (MFA)).
- L'analyse entrées sorties étendue à l'environnement peut être combinée à des méthodes d'agrégation (telles que celle de l'inventaire de l'analyse de cycle de vie) afin de générer des indicateurs spécifiques.

Dans le cadre du projet IMEA, la thèse de D. Friot a plus particulièrement proposé un modèle combinant un modèle entrées-sorties mondial, décrivant les activités de production, de consommation et de commerce international ainsi que les émissions qui en résultent, avec un modèle mondial de transport de polluants intégrant l'exposition humaine, et un modèle d'impact environnemental (Friot 2009). Cette thèse a utilisé une approche hybride croisant tableaux entrées-sorties et analyse de cycle de vie afin d'étudier trois sujets différents : les impacts environnementaux sur la santé humaine dans les pays en voie de développement, les tarifs douaniers aux frontières de l'Europe liés au contenu en carbone des produits importés et le rôle des pays développés dans les émissions chinoises de carbone (Friot 2009). Ces travaux de recherche préconisent l'utilisation des modèles entrées-sorties afin d'évaluer les impacts correspondant aux modes de consommation actuels caractérisés par la mondialisation. Ils mettent cependant en évidence plusieurs limites, nécessitant de nombreux développements méthodologiques et la disponibilité de nouvelles données avant d'obtenir des résultats robustes (Friot 2009). Nous inscrivons nos perspectives de recherche dans ce contexte. En effet, plusieurs projets permettent aujourd'hui d'avoir accès à des jeux

de données plus complets concernant les tableaux entrées-sorties (projets GTAP (Global Trade Analysis Project[25] et EIPRO (Environmental. Impact of Products) (Tukker et al. 2006), par exemple). Il nous semble donc pertinent d'envisager des travaux interdisciplinaires de recherches sur ce sujet, croisant sciences économiques et sciences de l'environnement. Initier des coopérations avec des centres de recherche déjà positionnés sur ce domaine nous semblent toutefois nécessaires pour approfondir nous même ce sujet. Nous avons ainsi identifié plusieurs chercheurs ayant déjà publié sur ces thèmes et avec lesquels il nous semblerait pertinent d'envisager, à terme, des partenariats : Isabelle Blanc (centre Observation, Impacts, Énergie de Mines ParisTech), Jan Minx (Potsdam Institute for Climate Impact Research, Allemagne), Thomas Wiedmann (School of Civil and Environmental Engineering, University of New South Wales, Australie), Karen Turner (Department of Economics, University of Strathclyde, Ecosse), par exemple. Des financements existent pour faciliter les coopérations internationales : programme Horizon 2020 de la Commission européenne, Actions Marie Curie pour financer la mobilité des doctorants et chercheurs, par exemple.

Notons que le projet de loi sur la transition énergétique pour la croissance verte, voté par l'assemblée nationale en octobre 2014, propose que la stratégie bas-carbone de la France « *intègre des orientations sur le contenu en émissions de gaz à effet de serre des importations, des exportations et de leur solde dans tous les secteurs d'activité. Elle définit un cadre économique de long terme en préconisant notamment une valeur tutélaire du carbone et son utilisation dans le processus de prise de décisions publiques* » (Assemblée nationale 2014). L'axe de recherche que nous proposons ici contribue à un meilleur suivi de cette volonté politique et législative.

4.2.2 Estimer l'incertitude en vue de l'utilisation des outils d'évaluation pour l'aide à la décision

Une autre piste de recherche qui nous semble nécessaire afin d'améliorer les outils d'évaluation environnementale existant dans une perspective d'aide à la décision est l'estimation de l'incertitude inhérente aux différentes méthodologies d'évaluation. En effet, le passage de l'aide à la réflexion, dont la vocation principale est de sensibiliser les acteurs et qui peut se contenter d'une image relativement grossière des impacts, à l'aide à la décision implique une meilleure connaissance des limites des résultats fournis par les évaluations environnementales.

De nombreux travaux, menés au sein de l'Institut H. Fayol, sont en relation avec la notion d'incertitude et sa gestion, que ce soit en probabilités / statistiques, en recherche opérationnelle ou en analyse des risques. En particulier, J.M. Tacnet (Tacnet et al. 2010) a travaillé sur la prise en compte de l'incertitude dans le cadre de l'expertise sur les risques naturels en montagne. Il a ainsi formalisé le lien entre information et décision : si l'information est un support à la décision, l'imperfection de l'information est incontournable

[25] Résultats du projet disponibles sur https://www.gtap.agecon.purdue.edu/

(nous revenons ainsi au principe de rationalité limitée introduit dès 1955 par H. Simon (Simon 1955)). S'appuyant sur les travaux de P. Smet (1999), J. M. Tacnet montre que les origines de cette imperfection de l'information peuvent être de quatre ordres :

- *L'inconsistance* correspond à une contradiction entre plusieurs sources. Il y a alors conflit sur l'information à prendre en compte.
- *L'imprécision* laisse le champ à plusieurs « *mondes* » possibles, (par exemple : John a au moins deux enfants (Smet 1999)) ; la hauteur est entre 2 et 3 m (Tacnet et al. 2010)). L'imprécision peut être caractérisée par l'absence ou la présence d'erreur.
- *L'incomplétude* correspond à l'absence de certaines valeurs.
- *L'incertitude* concerne l'état de la connaissance qu'un agent a du monde, et plus particulièrement la relation entre le monde et une déclaration à propos du monde (Smet 1999). Dit autrement, une information donnée peut être vraie ou fausse, mais notre connaissance du monde ne nous permet pas de trancher si cette information est vraie ou fausse.

Force est de constater que ces quatre sources d'imperfection sont susceptibles d'être rencontrées dans le cadre de l'évaluation environnementale. Les théories des ensembles flous, des possibilités et des fonctions de croyance permettent de représenter toutes ces formes d'imperfection alors que la théorie des probabilités ne permet de traiter que l'incertitude (Tacnet et al. 2010).

Cinq sources d'incertitude sont généralement recensées dans les méthodes d'évaluation environnementale, et en particulier dans les méthodes inspirées de l'analyse de cycle de vie (Huijberts 1998). Les deux premières sources d'incertitude sont classiques aux travaux sur l'incertitude :

- L'incertitude sur les ***données d'entrée,*** parfois issue des erreurs de mesure, et sur les ***paramètres des modèles,*** est liée au fait que des quantités très importantes de données seraient nécessaires pour modéliser les phénomènes en jeu, et que ces données sont souvent imprécises, incomplètes, dépassées ou manquantes.

- L'incertitude sur les ***modèles*** représentant les relations entre les phénomènes environnementaux, est liée au choix fréquent, pour des soucis de simplicité, de modèles linéaires qui négligent les phénomènes de seuils pourtant très présents dans l'étude des pollutions locales (écotoxicité, par exemple), ainsi qu'à l'utilisation de données agrégées dans le temps et l'espace.

Trois autres sources d'incertitude sont plus spécifiques aux analyses du cycle de vie (Huijberts 1998). Elles se retrouvent dans les travaux de comptabilité environnementale :

- L'incertitude liée aux ***choix méthodologiques*** incontournables tels que les méthodes d'allocation, le choix de l'unité fonctionnelle et du périmètre d'étude, les limites du système étudié et les méthodes de collecte des données.

- La ***variabilité spatiale et temporelle*** : les spécificités et la sensibilité de l'environnement, telles que ses conditions physico-chimiques et écologiques, ainsi que son état a priori (bruit de fond en termes de pollution et de densité humaine) sont souvent négligées dans les évaluations environnementales globales telles que l'ACV. Dans le cas d'analyse de l'état de l'environnement, la prise en compte de cette variabilité est pourtant cruciale. Par exemple, dans le cas de l'étude de la pollution des sols, il est important de connaître le fond géochimique naturel des sols (c'est-à-dire la concentration, à l'état naturel, des molécules observées dans les sols) pour identifier si le sol est pollué ou si la concentration des molécules observées correspond à l'état naturel.

- La ***variabilité entre les sources et les objets*** est souvent négligée. Par exemple, plusieurs procédés de fabrication d'un même objet peuvent conduire à des flux et impacts environnementaux très différents. De même, deux objets d'une même catégorie peuvent générer des impacts environnementaux très différents selon leurs différentes caractéristiques. Du fait de la difficulté d'obtenir des données sur les conditions de fabrication et les impacts environnementaux des objets précisément mis en œuvre par le système étudié, des coefficients génériques sont généralement utilisés.

Jusqu'à présent, nous n'avons qu'effleuré la problématique de l'incertitude dans nos travaux de recherche (par exemple, dans (EL BOUAZZAOUI 2008), (Moreau 2012) et (Dumoulinneuf 2014)).

Parmi les méthodes envisageables pour estimer l'incertitude, nous avons identifié plusieurs méthodes (Dumoulinneuf 2014) que nous présentons juste après :

- la méthode analytique des séries de Taylor, utilisée par le GHG Protocol et dans la méthode Bilan carbone,
- la méthode de Monte Carlo,
- l'arithmétique par intervalles,
- l'utilisation de systèmes de logique floue.

- La **méthode des séries de Taylor** s'inscrit dans une approche statistique. Elle vise à approximer l'incertitude d'un résultat à partir des incertitudes associées aux grandeurs d'entrée (Dumoulinneuf 2014). La norme NF ENV 13005 utilise cette approche pour définir les lois de propagation de l'incertitude. Elle se base sur une approximation en série de Taylor du premier ordre de l'équation reliant les grandeurs d'entrées à la grandeur de sortie. Deux lois sont proposées selon que les grandeurs d'entrées sont corrélées ou non. Dans le cas où les paramètres d'entrée sont non-corrélés, la loi de propagation est la suivante (AFNOR 2009) :

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^{n} \left[\frac{\partial f}{\partial x_i}\right]^2 u^2(x_i)$$

où :

- $u_c(y)$ est l'incertitude-type composée de la grandeur y.
- Les dérivées partielles $\partial f/\partial x$ correspondent aux coefficients de sensibilité.
- $1 \leq i \leq n$ où n est le nombre de composantes prises en compte dans l'estimation de la grandeur de sortie y.

Ainsi, l'incertitude-type composée est « *égale à la racine carrée d'une somme de termes, ces termes étant les variances ou covariances de ces autres grandeurs, pondérées selon la variation du résultat de mesure en fonction de celle de ces grandeurs* » (AFNOR 2009). Lorsque la non-linéarité de la fonction f devient significative, il est nécessaire d'adapter l'équation en ajoutant des termes d'ordres supérieurs (AFNOR 2009).

Si les grandeurs d'entrées sont corrélées, la loi de propagation précédemment présentée doit être adaptée pour prendre en compte les termes de corrélation (AFNOR 2009) :

L'équation ci-dessus peut être simplifiée sous les conditions suivantes (AFNOR 2009):

- Distribution normale (répartition gaussienne) de chaque paramètre.
- La valeur estimée correspond à la valeur moyenne.
- Tous les paramètres sont indépendants (non corrélés).
- Les incertitudes individuelles de chaque paramètre sont inférieures à 60% de la moyenne.

$$u_c^2(y) = \frac{(u(x_1).x_1)^2 + (u(x_2).x_2)^2 + \cdots + (u(x_n).x_n)^2}{y^2}$$

où :

- $u_c(y)$ est l'incertitude-type composée de la grandeur de sortie y.
- $u_c(x_i)$ est l'incertitude-type associée à la grandeur d'entrée x_i.
- $1 \leq i \leq n$ où n est le nombre de composantes (x_i) prises en compte dans l'estimation de la grandeur de sortie y.

Cette approche, relativement simple, est celle que nous avons pour l'instant choisie dans nos travaux, d'autant plus qu'elle est indiquée dans le GH Protocol et préconisée pour la méthode Bilan Carbone. Cependant, nous sommes bien conscients de ses limites (Dumoulinneuf 2014) :

- L'hypothèse d'indépendance et de non-corrélation entre les paramètres n'est pas toujours valide dans les méthodes que nous proposons. Telle qu'exprimée, l'incertitude-type composée ne tient pas compte des termes de corrélation. Il faudrait ainsi les intégrer pour affiner l'analyse, mais cela rend les calculs plus complexes en termes de mise en œuvre, et de compréhension par les utilisateurs de l'outil.
- Les données disponibles sur l'estimation de l'incertitude sur les différents paramètres, et la répartition de cette incertitude, sont généralement limitées. En l'absence de données statistiques, il est difficile de garantir d'une part que les valeurs

des paramètres suivent une distribution normale et d'autre part que les incertitudes individuelles de chaque paramètre sont bien inférieures à 60% de la moyenne.

Ainsi, à l'heure où les données sur les impacts environnementaux deviennent plus facilement disponibles, il nous semble que de nombreuses opportunités de recherche se dessinent à l'interface entre recherche en évaluation environnementale et en statistiques : estimation des incertitudes inhérentes aux méthodes d'évaluation environnementale, étude de la sensibilité des résultats vis-à-vis de ces incertitudes et des incertitudes portant sur les différentes données d'entrée des méthodes, étude de la propagation des incertitudes dans les modèles étudiés[26], étude des conséquences de ces incertitudes en termes d'aide à la décision. Les méthodes statistiques peuvent également venir nous aider à reconstruire des jeux de données incomplets (méthodes de krigeage, par exemple).

Il nous semble aujourd'hui que la modélisation de l'imperfection des données, l'estimation de la propagation des incertitudes et l'impact de ces imperfections et incertitudes apparaissent comme une problématique incontournable de la comptabilité environnementale utilisée dans le cadre de l'aide à la décision. En effet, les méthodes de comptabilité environnementale que nous avons développées jusqu'à présent avaient surtout des fins pédagogiques, visant à sensibiliser les décideurs à la nécessité d'élargir le champ des critères pris en compte dans leurs décisions aux problématiques environnementales. Tant que l'on restait dans une perspective pédagogique, en dépit des estimations quantitatives réalisées, la précision des résultats produits n'était pas un critère de qualité déterminant. Si l'on se situe dorénavant dans une perspective d'aide à la décision plus opérationnelle, ce qui semble aujourd'hui correspondre au niveau de maturité constatée chez un certain nombre d'acteurs, il devient alors nécessaire d'améliorer la représentativité des résultats fournis, et également de savoir estimer les fourchettes au sein desquelles se situe probablement le résultat, faute de pouvoir en donner une évaluation précise pour les raisons incontournables évoquées plus haut. La problématique de l'évaluation de l'incertitude apparaît alors comme centrale. Elle doit se positionner dans une perspective d'aide à la décision plus éclairée et de transparence quant aux limites des méthodes proposées.

Concrètement, la présence, au sein de l'Institut Fayol, d'une équipe de mathématiciens, spécialisés dans les domaines de la modélisation des incertitudes et l'analyse de leurs effets, les probabilités et autres représentations des aléas, ainsi que les analyses de sensibilité, représente une opportunité de collaborations fertiles.

- la **méthode de Monte Carlo** est une méthode numérique qui permet de reconstituer artificiellement un phénomène aléatoire en simulant un échantillon fictif de réalisations à partir d'hypothèses sur les variables aléatoires. Contrairement aux séries de Taylor, son principe n'est pas de propager l'incertitude via le modèle, mais de

[26] Voir par exemple les travaux de thèses encadrées par I. Blanc, Mines Paritech, par exemple

propager une fonction de densité de probabilité de chaque grandeur d'entrée afin d'obtenir la fonction de densité de probabilité de la grandeur de sortie. Le cadre de validité de la méthode de Monte Carlo est plus large que celui de l'approche analytique. Cependant, son application demande un nombre élevé de tirages aléatoires (>10^6), ce qui exige un calculateur spécifique (Désenfant et al. 2007). Cependant, cette méthode a déjà été utilisée dans le cadre d'analyses de cycle de vie. Par exemple, Hung et Ma l'ont utilisée afin d'identifier la contribution des différentes étapes de l'ACV à l'incertitude globale. Cela permet de focaliser ensuite l'attention sur la phase qui contribue le plus à l'incertitude globale pour améliorer le résultat global (Hung, Ma H. W. 2009).

- **l'arithmétique par intervalles** permet de représenter, non pas uniquement la valeur d'un nombre, mais également une incertitude autour de ce nombre. On utilise alors un couple de nombres pour représenter ces intervalles d'incertitude. On peut effectuer des opérations arithmétiques sur l'intervalle x = [xinf ; xsup], comme sur les nombres réels. Par exemple, on définit l'addition de deux intervalles x + y comme étant l'intervalle [xinf +inf yinf ; xsup +sup ysup]. L'opération +inf (respectivement +sup) signifie l'addition des deux nombres, arrondie au nombre flottant représentable le plus proche dans la direction - ∞ (respectivement + ∞) (Interstices 2014).
- La théorie de **la logique floue** est une extension de la logique booléenne basée sur la notion de sous-ensembles flous. Ces derniers sont décrits par une fonction d'appartenance sur une échelle ordonnée, bornée inférieurement et supérieurement (Dubois, Prade 1995). Les ensembles flous permettent de représenter, grâce à des algorithmes de raisonnement, des informations imprécises et incertaines. Ainsi les différentes valeurs possibles d'une grandeur de sortie peuvent être représentées à partir des courbes représentant les valeurs possibles des paramètres influant sur la variable étudiée (Dubois, Prade 1995).

Au-delà du travail quantitatif sur les incertitudes, il nous semble indispensable de conserver un regard critique, et qualitatif, sur les données d'entrée des méthodes, hypothèses et modèles utilisés. Par exemple, dans le cadre du comité de pilotage de l'étude A.D.E.M.E – D.I.R.E.M « *Bilans énergétiques et gaz à effet de serre des filières de production de biocarburant* » de novembre 2002, confiée au bureau d'étude Ecobilan de la société Pricewaterhouse Coopers, Patrick Sadones, expert bénévole indépendant, a pu montrer la faiblesse (pour ne pas dire la mauvaise foi !) d'hypothèses d'imputations et d'allocations des différents coproduits impliqués dans le processus de production des agrocarburants. Ces hypothèses contestables conduisaient à montrer la pertinence, sur le plan des bilans énergétiques et environnementaux, d'une politique de promotion des agrocarburants (Sadones 2006). Sans calculs trop complexes, P. Sadones a ainsi montré que les choix des hypothèses sous-jacents à cette analyse de cycle de vie trouvaient plus leurs origines dans des choix politiques et économiques que dans la réalité des processus industriels de fabrication. S'il n'a guère été écouté au moment de l'étude, il est intéressant de constater que, quelques années plus tard, la Commission Européenne est revenue en arrière sur sa politique de promotion des

agrocarburants de première génération (Girard 2012). Ainsi, si les choix des hypothèses ont parfois des motivations politiques ou économiques, il nous semble que le scientifique doit savoir se montrer attentif et critique par rapport à ces choix afin d'alerter l'attention sur les risques de s'engager sur la voix de "fausses" solutions face aux problèmes écologiques.

4.3 Troisième axe de recherche : vers de nouveaux indicateurs dans une perspective de transition

Il existe un endroit où les hommes parlent comme les oiseaux.

Feloche. *Silbo*. 2013

Comme évoqué en début de chapitre, nous positionnons nos perspectives de recherche dans l'optique de fournir des éléments de connaissance et de réflexion aux différents acteurs afin de les guider dans une perspective de transition vers des modes de vie plus soutenables. Au-delà du développement de méthodes d'évaluation intégrées pour de nouveaux systèmes, évoqué dans le premier axe de ces perspectives de recherche, et de l'amélioration de la précision des informations fournies, évoquées dans le second axe, une réflexion complémentaire nous semble devoir être menée sur la proposition de nouveaux indicateurs jusqu'alors pas, ou peu, utilisés dans l'aide à la décision. Dans cette perspective, deux pistes complémentaires nous semblent se dessiner :

- Une réflexion sur la forme des indicateurs présentés, afin de faire correspondre cette forme avec les besoins des utilisateurs potentiels pour qu'ils en aient une meilleure appréhension et compréhension (axe 4.3.1)
- Une réflexion plus substantielle sur la définition et le choix des indicateurs, afin de faire correspondre les indicateurs utilisés au niveau "micro" des acteurs avec les problématiques écologiques planétaires (axe 4.3.2).

4.3.1 Modifier les représentations par des outils pédagogiques adaptés aux différents publics

Nous avons précisé, dans le paragraphe 2.1, qu'une de nos hypothèses de travail était que le partage de connaissances relatives aux impacts environnementaux, et plus généralement à la soutenabilité, nous semble être une condition nécessaire, même si probablement largement insuffisante, à la mise en place de meilleures conditions de soutenabilité (réduction des impacts environnementaux) et de résilience de nos sociétés. Cette hypothèse, a été considérée jusqu'alors comme hypothèse directrice de nos travaux de recherche, c'est-à-dire que nous n'avons jamais cherché à la démontrer. Nous pourrions envisager, grâce à des travaux pluridisciplinaires avec des chercheurs en sciences sociales, de la tester en analysant les conséquences, en termes de changements de représentations, comportements et décisions,

induites par l'utilisation d'outils d'évaluation environnementale. Nous pourrions pour cela soit utiliser, comme terrain expérimental, différentes organisations partenaires de nos recherches passées afin de formaliser un retour d'expérience sur les suites données, ou non, à la mise en place de démarches d'évaluation environnementale. L'objectif serait d'identifier les conséquences, en termes de changement de modes de faire des acteurs impliqués. Nous pourrions également envisager de mener en parallèle des travaux visant à proposer de nouveaux outils d'évaluation environnementale, et des recherches en sciences sociales, visant à estimer les conséquences, sur leurs usagers, en termes de changement de représentations et comportements.

Cet axe pose la question du choix entre les différentes façons de représenter les impacts. Il nous semble intéressant d'évaluer les diverses représentations possibles des impacts selon leur pertinence et efficacité en termes de compréhension des enjeux environnementaux, de prise en compte de ces enjeux dans la décision des acteurs impliqués. Par exemple, comment représenter simplement des hypothèses, souvent complexes et fastidieuses, inévitablement effectuées dans le cadre de travaux de modélisation et d'évaluation ? Faut-il privilégier une présentation des résultats reposant sur une approche multicritère rigoureuse et scientifique, permettant plus de précision et apportant plus d'informations par rapport aux différents types d'impacts potentiels, ou au contraire, vaut-il mieux une représentation plus agrégée, graphique ou symbolique, probablement moins précise, mais plus évocatrice, voire qui touche à la sensibilité des personnes ciblés ? Comment, dans ce cas, faire percevoir, voire visualiser les choix méthodologiques effectués lors de l'agrégation des différents critères ? Quelles sont les perspectives de représentation cartographiques des différents travaux d'évaluation des pressions environnementales et de leurs incertitudes ? Quelles sont les différentes conclusions en termes décisionnels suggérées par les différentes représentations des impacts environnementaux ? Il n'y a probablement pas de réponse unique à ces questions, mais l'on pourra s'interroger sur les différents critères permettant de caractériser les situations afin de choisir entre diverses représentations possibles : quels sont les modes de lectures et de compréhension des résultats des méthodes utilisées ? Comment sont utilisés, ou non, les différents indicateurs proposés ? En quoi mesurer des impacts environnementaux permet, ou non, leur prise en compte par les décideurs ?

Concrètement, des pistes de réponses à ces questions pourraient probablement émerger de l'analyse des retours d'expérience sur les différentes façons dont peuvent être, ou non, utilisés les différents indicateurs d'impacts environnementaux (existants et ceux proposés par notre centre de recherche) en termes d'aide à la décision : est-ce que les évaluations environnementales menées ont conduit à revoir les modes de faire sur le court et moyen termes ? Le cas échéant, dans quelles mesures ? Si non, pourquoi ? Comment pourrait-on améliorer les indicateurs pour qu'ils soient plus utiles ou plus utilisés ? On pourrait également envisager de proposer différentes représentations possibles des pressions environnementales et observer les réactions des différents utilisateurs potentiels des indicateurs proposés.

Dans le cadre de projets de recherches pluridisciplinaires (en particulier, associant, par exemple, des géographes, des sociologues, des designers, voire des artistes), il nous semble nécessaire d'étudier les différentes représentations possibles des hypothèses et méthodes de

calcul utilisées, ainsi que des résultats en termes d'impacts environnementaux ainsi que de leurs incertitudes.

Pour illustrer cet axe de recherche, nous pouvons citer le projet européen SHOWE IT (Social Housing of Water and Energy Efficiency ICT), au montage duquel nous avons contribué, ainsi qu'à sa mise en œuvre au sein de notre équipe. Ce projet est une initiative internationale cofinancée par la Commission Européenne (au travers du programme ICT-PSP) rassemblant différents partenaires tels que des entreprises sociales de l'habitat (Botkyrkabyggen (Suède), Rochdale Boroughwide Housing (Grande-Bretagne), Cité Nouvelle (France)), des entreprises (Siemens, GDF Suez, Aquagest, Smarvis) et ARMINES/ Institut Fayol comme partenaire de recherche. Son objectif est de réduire les consommations d'eau et d'énergie dans des logements sociaux situés dans trois pays européens (France, Royaume-Unis, Suède) grâce à la mise en place de systèmes basés sur les technologies de l'information et de la communication (TIC), visant à suivre et informer les locataires de leurs consommations en énergie et en eau. De nombreux efforts sont ainsi consacrés à promouvoir et motiver les ménages partenaires du projet aux économies d'énergie et d'eau. Les TIC sont supposées permettre à ces ménages de s'orienter vers des comportements plus sobres. Les technologies utilisées sont testées et disponibles sur le marché, garantissant à l'utilisateur, un service fiable et durable tout au long du projet. Parallèlement aux développements technologiques pour la mise en place des systèmes de suivi « *en temps réel* » et la mise à disposition, par des tablettes situées dans les appartements, d'indicateurs sur les consommations d'énergies et d'eau, un travail est effectué par une sociologue afin d'identifier les freins et leviers à l'utilisation du système d'information ainsi fourni en vue de réduire les consommations. Ce projet, débuté en 2011, se finira fin 2014. Ses résultats ne sont donc pas encore formalisés.

D'autre part, nous sommes actuellement en lien avec l'entreprise E3D qui nous a sollicités pour mettre en place une étude qui vise à estimer les gains environnementaux générés par des écogestes que cette entreprise propose dans le cadre du dispositif GD6D™. Ce dispositif GD6D™, développé par E3D-Environnement, vise à accompagner les citoyens dans l'adoption de gestes éco-responsables. Il s'agit de proposer aux utilisateurs d'adopter régulièrement de nouveaux gestes éco-responsables. Ces « écogestes » peuvent être définis comme des gestes que l'on réalise au quotidien parfois automatiquement, de manière habituelle, mais qui peuvent permettre de diminuer les impacts environnementaux de nos modes de vie. Leurs objectifs peuvent être de plusieurs ordres :

- réduction des consommations d'eau et d'énergie ;
- diminution de la production de déchets ;
- augmentation de la part de déchets triés ;
- réduction du gaspillage alimentaire ;
- réduction de la pollution des eaux et des sols ;
- réduction du nombre de kilomètres réalisés avec sa voiture ;
- meilleure utilisation des réseaux d'assainissement et pluviaux.

Ainsi, la question de recherche qui nous est adressée est « *comment estimer les gains environnementaux (et/ou impacts négatifs collatéraux éventuels) générés par des écogestes à l'échelle du ménage et de la collectivité locale où les écogestes sont réalisés ?* ». L'objectif de ces estimations est, in fine, d'aider les collectivités ayant mis en place le dispositif GD6D™ à prendre en compte les gains générés (baisse des consommations d'électricité, réduction des déchets à collecter, par exemple) dans leurs décisions d'investissemnts dans de nouvelles infrastructures. Un corollaire indispensable à cette question de l'évaluation des gains environnementaux est ainsi l'identification des incertitudes qui y sont associées afin d'éviter aux collectivités de faire des choix non pertinents.

L'estimation de ces gains devra se faire à deux échelles différentes, correspondant à deux phases différentes d'étude :

- estimation des gains environnementaux générés par des écogestes à l'échelle de chaque ménage, et de l'incertitude associée ;
- estimation des gains environnementaux à l'échelle de la collectivité qui rassemble les différents ménages mettant en place les écogestes, et de l'incertitude associée.

Deux types de verrous scientifiques nous semblent particulièrement importants à prendre en compte dans le cadre d'une telle étude :

- Il est important de ne pas occulter, ni oublier, des impacts, éventuellement négatifs. En effet, si l'audience de GD6D™ s'élargit, certains résultats de l'estimation des gains générés par le calculateur risquent d'être contestés par des acteurs dont les intérêts vont à l'encontre de la mise en place des écogestes. Ces acteurs risquent ainsi de contester les résultats du calculateur. Il semble donc important d'être le plus exhaustif possible sur les différents gains, mais aussi les éventuelles dégradations d'impacts, ainsi que d'être transparent sur les hypothèses et sources d'estimation utilisées.
- Un deuxième verrou, lié au précédent, provient du manque de disponibilité des données en termes d'évaluation des écogestes à l'échelle des ménages, voire de l'absence de reproductibilité de ces données. Ce manque de disponibilité des données dans la littérature devra impliquer, d'une part, la mise en place de mesures au sein des ménages engagés et, d'autre part, une grande prudence et humilité dans l'affichage des résultats du calculateur.

Une collaboration avec des chercheurs en psychologie sociale sera mise en place afin d'estimer, de la façon la plus fiable possible, le taux de mise en œuvre effective des écogestes au sein des différents types de familles impliquées.

De telles réflexions s'inscrivent dans une logique pluridisciplinaire et pourront être réalisées en partenariat (par exemple, dans le cadre des programmes ANR Villes et Bâtiments Durables ou Sociétés & Changements Environnementaux). Evidemment, cela impliquerait des partenariats pluridisciplinaires, qui pourraient être développés avec des chercheurs d'autres disciplines : sociologues (voir par exemple les travaux de F. Charvolin (centre Max Weber de l'UJM) ou de M.C. Zelem (université de Toulouse II)), psychologues (voir par exemple les travaux de R.V. Jouve et J.L. Beauvois, de l'Université de Marseille), économistes (voir par exemple les travaux sur les indicateurs de Florence Jany-Catrice et Jean Gadrey), designers, voire philosophes (voir par exemple les travaux sur la richesse de D. Méda).

4.3.2 Réflexion et propositions d'indicateurs susceptibles de faire l'objet de seuil de durabilité

Ces dernières années, plusieurs articles parus dans des revues scientifiques de renom (Nature, Science) alertent la communauté scientifique sur le risque que l'écosystème planétaire atteigne un niveau de dégradation qui dépasse des « *seuils d'irréversibilité* » ou de « *capital critique* ». Certains auteurs proposent de définir un « *espace de fonctionnement sécurisé* » à l'intérieur duquel l'Humanité respecterait le système terre et ses sous-systèmes biophysiques (Rockström et al. 2009). Ainsi, selon A. Barnosky et al (2012), les ressources biologiques, dont nous dépendons, risquent de subir des transformations rapides et imprévisibles à l'horizon de quelques générations humaines (Barnosky et al. 2011). Selon ces auteurs, de nombreux signaux précoces sont aujourd'hui constatés par diverses études scientifiques en biologie, portant sur le développement de maladies, la dynamique des populations ou les écosystèmes lacustres (Barnosky et al. 2012).

Un des exemples les plus flagrants de l'impact planétaire de l'homme et des risques d'atteinte de seuils d'irréversibilité est le changement climatique. La concentration du dioxyde de carbone a augmenté de 40 % depuis l'époque préindustrielle (GIEC 2013). Depuis les années 1950, de nombreux changements, sans précédent depuis des décennies voire des millénaires, sont observés. L'atmosphère et l'océan se sont réchauffés, la couverture de neige et de glace a diminué, le niveau des mers s'est élevé et les concentrations des gaz à effet de serre ont augmenté (GIEC 2013). Le réchauffement de l'océan constitue l'essentiel de l'augmentation de la quantité d'énergie emmagasinée au sein du système climatique et représente plus de 90 % de l'énergie accumulée entre 1971 et 2010. Ceci risque de perturber la circulation océanique (GIEC 2013). L'absorption de carbone par les océans contribue à l'acidification des océans. L'augmentation de la température provoque le dégazage de CO2 et de CH4 vers l'atmosphère provenant du carbone stocké dans des pergélisols en dégel au cours du XXIe siècle, ce qui vient renforcer le réchauffement du système climatique (GIEC 2013). La plupart des caractéristiques du changement climatique persisteront pendant de nombreux siècles même si les émissions de CO2 s'arrêtaient. L'inertie du changement climatique est en effet de l'ordre de plusieurs siècles (GIEC 2013).

Des réponses des systèmes biotiques aux dégradations sont aujourd'hui observables, incluant de vastes "zones mortes" dans des zones côtières (Barnosky et al. 2011). Plus de 40 % des terres auparavant riches en biodiversité sont aujourd'hui consacrées à un faible nombre d'espèces, que ce soit des cultures, des animaux domestiques ou des hommes (Barnosky et al. 2011). Partout dans le monde, du fait des changements climatiques et des transformations d'habitats naturels, des changements sont observables en termes de variétés, phénologie et abondances d'espèces. Certaines espèces invasives se répandent (méduses dans les océans, par exemple). Toutes les modifications ne conduisent pas à une réduction du

nombre d'espèces. Par exemple, du fait de l'introduction par l'Homme de certaines espèces, certains écosystèmes locaux voient leur diversité augmenter, contrairement à la tendance mondiale de diminution de la biodiversité. Cependant, personne ne sait si cette diversité locale va se maintenir ou si elle va finir par décroître du fait des interactions entre espèces sur le long terme (Barnosky et al. 2011).

Les taux d'extinction récents et attendus de vertébrés dépassent largement les taux pouvant être estimés à partir des facteurs naturels d'extinction. De plus, de nombreuses espèces végétales, vertébrées ou invertébrées ont vu leur étendue géographique et leur abondance se réduire drastiquement, au risque d'une extinction. De par le monde, la disparition d'espèces "clés de voûte", telles que les grands prédateurs des niveaux trophiques supérieurs, a exacerbé les changements, causés par des impacts moins directs. En effet, les systèmes écologiques sont ainsi trop simplifiés, ce qui les rend moins stables et résilients (Barnosky et al. 2011).

Il apparaît alors nécessaire de pouvoir mettre en relation les pressions exercées par l'Homme sur la biosphère versus les capacités de régénération de cette dernière. C'est par exemple, nous l'avons vu, la question à laquelle tente de répondre l'empreinte écologique (Wackernagel 2009) en cherchant à quantifier la part des capacités bioproductives de la planète qui est nécessaire pour subvenir à la demande liée aux activités humaines. Ainsi, en faisant l'hypothèse que les flux de ressources et de déchets peuvent être mesurés en termes de *surfaces biologiquement productive*s, nécessaires pour produire ou assimiler ces flux, l'empreinte écologique vise à estimer d'un côté, la surface biologiquement productive de terre et de mer qu'il faudrait mobiliser pour produire les ressources biologiques renouvelables consommées par les activités humaines ou absorber certains déchets (principalement les émissions de CO_2 anthropiques). D'un autre côté, est recensée la surface de terre ou de mer disponible pour cette production : la « *biocapacité* » qui représente la capacité de la biosphère à produire ces ressources et absorber les déchets. Cet indicateur nous semble donc intéressant car c'est le premier qui vise à comparer « *l'offre* » en ressources naturelles biologiques à la « *demande* » des populations humaines. Cependant, compte-tenu des limites évoquées au paragraphe 3.2.8, il nous semble que ces notions de seuil et de capital critique seraient également intéressantes à interroger sur d'autres thématiques environnementales susceptibles de présenter également des seuils d'irréversibilité.

Pour la réflexion sur les thèmes faisant l'objet d'irréversibilité au niveau planétaire, nous utiliserons les 10 thèmes environnementaux que J. Rockström et al. (2009) ont identifié scomme susceptibles de présenter des seuils d'irréversibilité écologique au niveau planétaire, et que nous avons déjà présentés dans le chapitre 2 : changement climatique ; taux de perte en biodiversité ; cycle de l'azote (lié au cycle du phosphore) ; cycle du phosphore (lié au cycle de l'azote) ; trou dans la couche d'ozone ; acidification des océans ; utilisation planétaire d'eau douce ; changement d'affectation des sols ; charge en aérosols atmosphériques et pollution chimique.

Les humains s'approprient 20 à 40 % de la productivité primaire nette et dégradent cette productivité du fait de la dégradation des habitats naturels (Haberl et al. 2007). Le fait de

doper localement la productivité primaire nette par l'utilisation de nutriments tels que l'azote et le phosphore, a des conséquences environnementales bien connues aujourd'hui (dégradation des sols sur le long terme, pollution des eaux, etc.) (Haberl et al. 2007). S. Running propose d'utiliser cet indicateur, quantifiable, en complément de ceux proposés par J. Rockström et al., comme limite planétaire (Running 2012). En effet, S. Running souligne que la production primaire nette est associée à trois systèmes planétaires qui ont atteint leur limite selon J. Rockstrom et al : le changement climatique, le taux de perte en biodiversité et l'interférence de l'homme dans les cycles de l'Azote et du Phosphore. Elle est également liée au changement d'utilisation des sols ainsi qu'à l'utilisation d'eau douce. S. Running souligne le fait que la productivité primaire nette mondiale, d'environ 53,6 PG (soit $53{,}6*10^9$ tonnes) est remarquablement stable dans le temps. En dépit de fortes variabilités régionales des facteurs influençant cette productivité (radiations solaires, précipitations, en particulier), la productivité primaire nette (PPN) varie de moins de 0.001% par an au niveau mondial (Running 2012). Cette PPN semble donc déterminée par des contraintes planétaires. On ne peut donc pas escompter une augmentation substantielle de cette valeur. La question se pose alors de savoir si la biosphère peut supporter une augmentation de 40 % de la population mondiale, projetée pour 2050. Aujourd'hui, l'Homme utilise environ 38 % de cette PNN mondiale. La question devient donc de savoir si l'humanité peut s'approprier une fraction plus élevée de la PNN mondiale. Selon S. Running, 53 % de la PNN mondiale n'est pas exploitable (espaces préservées, zones sauvages, etc.). Il ne reste donc que 5 à 10 % de la PNN mondiale qui pourrait être mobilisée de surcroît. La question n'est donc plus, selon S. Running sir les hommes vont atteindre la limite planétaire en termes d'appropriation de la PNN, mais quand ils vont l'atteindre… L'hypothèse d'augmentation de 40 % de la population, associée aux objectifs d'amélioration des conditions de vie pour les 5 milliards de terriens les plus pauvres implique un doublement de l'utilisation des ressources biologiques. Ce raisonnement conduit S. Running à suggérer que les limites planétaires à la croissance, estimées à partir de l'appropriation humaine de la productivité primaire nette, vont être atteintes dans moins d'une dizaine d'années (Running 2012) …

La réflexion sur les indicateurs, pouvant être utilisés à l'échelle locale, pour faire le lien entre les pressions exercées par les différents acteurs et les seuils existant à l'échelle planétaire, fait l'objet d'un projet prospectif que j'ai monté en partenariat avec l'IRSTEA d'Anthony et l'ENS des Mines d'Alès. Ce projet, en cours, est financé dans le cadre d'un financement par le réseau des Instituts Carnot inter-établissements entre les Carnot IRSTEA et Mines. Ce projet entre dans le cadre du programme de recherche INDECO, incitatif pour des projets d'amorçage sur le thème « *Indicateurs environnementaux* ». Irstea et l'institut Carnot M.I.N.E.S s'associent pour faire de cet appel à projets un outil de ressourcement. L'objectif de l'institut Carnot M.I.N.E.S, dans cet appel, est « *d'amplifier sa politique de soutien à la recherche amont en renforçant le développement de projets structurants dans le domaine de la qualité environnementale et en en valorisant une approche interdisciplinaire. Pour les 2 établissements, cet appel à projets est l'opportunité d'une ouverture, d'une meilleure connaissance mutuelle et de croisement des approches de recherche* » (Direction de la Stratégie, de la Recherche et de l'Evaluation d'Irstea, Direction de l'institut Carnot M.I.N.E.S 2013).

Dans le cadre de cet appel à projet, nous nous sommes associés à Jacques Méry (IRSTEA Anthony) et à Guillaume Junqua (ENS des Mines d'Alès) pour proposer le projet REPIS (Réflexion Et Propositions d'Indicateurs susceptibles de faire l'objet de Seuil de durabilité) qui a été sélectionné pour obtenir un financement.

Nous nous proposons, dans une première phase, de faire une revue des travaux portant sur les notions de seuil et de capital critique afin d'identifier les thèmes présentant des « *seuils* » de soutenabilité écologique ainsi que les différents indicateurs qui y sont associés, proposés par la littérature. Nous pourrons, entre autres, nous appuyer, à cette fin, sur l'abondante littérature sur la résilience, qui peut être définie comme la capacité d'un système à pouvoir intégrer dans son fonctionnement une perturbation, sans pour autant changer de structure qualitative (voir par exemple (Martin 2005)). La littérature sur la théorie de la viabilité pourra également être mobilisée. En effet, cette théorie vise à proposer un formalisme mathématique qui permettrait de définir le niveau de résilience des systèmes écologiques à partir de la définition d'un ensemble d'états admissibles dans lequel peuvent être maintenus des systèmes dynamiques (Chapel et al. 2008). Ces notions de seuils d'irréversibilité et de « *capital critique* » seront également interrogées.

Dans une deuxième phase, nous envisagerons les possibilités d'utilisation de certains de ces indicateurs à une échelle plus "micro" (pour un territoire ou une organisation, par exemple). Cette phase prendra la forme de trois stages de master recherche, en 2015 (ou CDD court) qui bénéficieront chacun d'un comité de suivi constitué par les enseignants-chercheurs des trois établissements impliqués dans le projet.

L'équipe qui constitue le projet REPIS est pluridisciplinaire (chercheurs en sciences et génie de l'environnement et un économiste). Les activités de ses membres sont plutôt centrées autour de l'évaluation environnementale au niveau local (territoires, entreprises, installations de traitement de déchets). Un des verrous scientifiques importants de l'évaluation environnementale à ce niveau concerne l'interprétation des résultats de l'estimation des pressions environnementales. En effet, comment, à cette échelle, comparer entre elles des pressions sur des impacts difficilement commensurables. Par exemple, quelle importance relative donner à des émissions de gaz à effet de serre versus des consommations en eau ? Aucune méthode consensuelle n'existe aujourd'hui pour réduire à une note unique la dizaine d'indicateurs d'impacts généralement estimés. Deux méthodes sont principalement utilisées pour ramener des indicateurs incommensurables à des indicateurs soit sans unité (la «*normation* ») soit avec une unité monétaire commune (la « *monétarisation* ») (Rethoré 2010).

Ces méthodes impliquent des hypothèses fortes, souvent implicites (Méry 2010). Nous souhaitons que la synthèse de l'état de l'art de la littérature sur les notions de seuils, d'irréversibilité et de résilience, travaux portant plutôt sur les systèmes dynamiques à l'échelle planétaire, nous permette de dégager des pistes de recherche susceptibles de fournir de nouvelles clés pour résoudre ces problèmes d'interprétation des résultats d'évaluation environnementale au niveau local.

A court terme (été 2015), 3 stages de master se dérouleront en parallèle dans chacun des établissements partenaires, faisant l'objet de comités de suivi composés par l'ensemble des membres du projet. L'objectif est de mener une réflexion sur les indicateurs pouvant être

utilisés afin de représenter la contribution d'un acteur local à l'atteinte des limites planétaires en termes de consommation d'énergie et de changement climatique. En effet, si nous avons cité, à l'échelle mondiale, plusieurs articles portant sur la notion de seuils de réversibilité et de capital critique ((Rockström et al. 2009), (Barnosky et al. 2011), (Running 2012) par exemple), ces travaux se déclinent rarement à l'échelle locale. Nous nous proposons d'identifier d'autres indicateurs qui pourraient compléter ces analyses tout en interrogeant ces notions de seuil et de capital critique. Nous attacherons un intérêt particulier à la pertinence des indicateurs au niveau local pour des thèmes faisant l'objet de seuils d'irréversibilité au niveau planétaire.

En particulier, le stage de master se déroulant au sein de l'EMSE portera sur le domaine de l'énergie, du changement climatique et de la productivité primaire nette. Il visera à identifier et analyser différents indicateurs pouvant être utilisés pour représenter la contribution d'un acteur local à l'atteinte des limites planétaires dans le domaine des consommations énergétiques et du changement climatique. Ce travail nécessitera donc des recherches bibliographiques sur des indicateurs tels que les émissions de gaz à effet de serre, l'empreinte carbone, l'empreinte écologique, la productivité primaire nette, etc.

En particulier, la première partie du stage visera à approfondir les applications de ces différents indicateurs à l'échelle d'un territoire afin d'identifier les principes méthodologiques de ces méthodes pour des applications locales. La seconde partie du stage pourra se baser sur des entretiens avec des acteurs ou une étude de cas concrète afin d'envisager les possibilités d'utilisation des indicateurs identifiés avec certains des 10 thèmes faisant l'objet de limites planétaires selon (Rockström et al. 2009). Le lien, plus ou moins fort selon les thèmes, entre les pressions exercées localement et la vulnérabilité du territoire sera également envisagé.

4.4 Axe de réflexion transverse : la vitesse est-elle durable ?

« *Cours, Cours*
No limit
A la fuite
Accélère
Accélère, c'est pas le moment
Tu crois toujours que tu peux t'arrêter
Te jeter dans un coin te coucher
Oublier la cadence »

Noir Désir, *Le Grand Incendie*, 2001

Notre dernier axe de recherche peut paraître un peu plus "philosophique"[27]. Cela peut sembler un peu "hors cadre" par rapport au domaine dans lequel nous positionnons nos travaux mais nous pensons qu'il peut guider des questions de recherche pouvant faire appel aux sciences dites pour l'ingénieur. En effet, nous avons déjà signalé la difficulté d'inscrire nos travaux dans un cadre disciplinaire. D'autre part, les préoccupations écologiques génèrent de nombreux questionnements éthiques et philosophiques. Nous pensons que les véritables réponses à ces questions ne viendront que de profonds changements dans les fondements philosophiques sur lesquels reposent nos sociétés. Nous rejoignons ainsi F. Flipo lorsqu'il défend que « *l'écologie politique implique un «changement de paradigme», par rapport à la philosophie dans laquelle baigne la modernité (ou l'Occident) et qu'elle tient pour universelle*» (Flipo 2013).

Presque tous les aspects de la vie peuvent être abordés de façon éclairante selon une perspective temporelle. Selon H. Rosa, les structures temporelles relient les niveaux microscopiques et macroscopiques de la société (Rosa 2012). En effet, au même titre que normes et contraintes diverses, les régulations temporelles permettent de coordonner les actions et orientations des acteurs, au niveau microscopique, afin de les rendre compatibles avec les « *impératifs systémiques* » des sociétés. H. Rosa déplore ainsi que ce régime temporel, qui régule, coordonne et domine les sociétés modernes, ne soit pas articulé en termes éthiques (Rosa 2012). Ainsi, selon lui, alors que les sujets modernes se voient « *libres* », ils sont en fait « *régentés, dominés et réprimés par un régime–temps en grande partie invisible, dépolitisé, indiscuté, sous-théorisé et inarticulé* » (Rosa 2012).

Afin de nommer et analyser ce régime-temps, H. Rosa propose le concept de « *logique d'accélération sociale* ». Cette logique comporte trois composantes (Rosa 2012):

- *L'accélération technique* (par exemple dans les domaines de la communication, les transports, le traitement de données) transforme le régime spatio-temporel de la

[27] Notons bien les guillemets car nous ne prétendons pas apporter une contribution à la pensée philosophique !

société, en venant modifier la perception et l'organisation de l'espace et du temps de la vie sociale.

- *L'accélération du changement social* : le changement des structures de base de la société (famille et travail) est passé d'un rythme inter-générationnel, aux débuts de l'ère moderne, aux changements générationnels lors de la modernité classique, puis à un rythme intra-générationnel aujourd'hui.
- *L'accélération du rythme de vie* : le nombre d'épisodes d'actions ou d'expériences augmente par unité de temps. Selon H. Rosa, il s'agit de la facette la plus oppressante car elle génère un sentiment de « *famine temporelle* ». En effet, les acteurs sociaux ressentent de manière croissante qu'ils manquent de temps et en viennent à « *considérer le temps comme une denrée rare* » (Rosa 2012).

La société subit l'aliénation de cette triple accélération : accélération technique, accélération du changement social et accélération des rythmes de vie (Rosa 2012). Nous sommes aliénés « *à chaque fois que nous faisons "volontairement" ce que nous ne voulons pas vraiment faire* » (Rosa 2012). Cette aliénation peut sembler paradoxale car l'accélération, ou "progrès", technique, devrait logiquement réduire le temps requis pour réaliser nos tâches quotidiennes (par exemple, faire laver son linge par une machine prend moins de temps que d'aller le laver au lavoir municipal). Cela devrait donc impliquer une augmentation du temps libre, qui réduirait ainsi la « *famine temporelle* », ce qui va à l'encontre de l'accélération du rythme de vie observée par ailleurs. H. Rosa explique cette accélération par des raisons économiques et sociales. On aurait gagné du temps si le nombre de tâches était demeuré le même, mais ce n'est pas le cas. L'auteur propose l'exemple du courrier, quotidiennement expérimenté par les enseignants-chercheurs. En 1990, écrire et recevoir 10 lettres par jour prenait 2h de travail. Aujourd'hui, écrire et recevoir 10 messages prend 1 heure… mais le nombre de messages a doublé, voire davantage. Mais, comme le souligne H. Rosa, le temps de la réflexion et du choix est, lui, incompressible : cette avalanche actuelle de courriers électroniques suscite donc un stress beaucoup plus élevé (Leprince 2007), et on consacre aujourd'hui un temps bien plus important à la communication écrite.

H. Rosa a identifié trois forces motrices à l'accélération sociale :

- Un moteur social : la compétition,
- Un moteur culturel : la promesse de l'éternité,
- Le cycle de l'accélération lui-même.

Le moteur social, la compétition, puise ses origines « *dans les principes essentiels et les lois du profit inhérent à l'économie capitaliste* » (Rosa 2012). La célèbre phrase de Benjamin Franklin « *le temps, c'est de l'argent* » exprime le fait que « *le temps de travail est un facteur essentiel de la production* » (Rosa 2012). Réduire les temps de production est donc, pour les entreprises, un moyen répandu pour réduire les coûts de main d'œuvre et obtenir un avantage concurrentiel. D'autre part, les systèmes de financement basés sur les crédits et taux d'intérêt obligent les investisseurs à rechercher rapidement un retour sur investissement, nuisant ainsi à une vision de long terme. Enfin, l'idéologie actuelle encourage les entreprises à précéder leurs concurrents en termes d'innovation pour générer des profits supplémentaires et maintenir leur compétitivité (Rosa 2012). H. Rosa souligne que le principe de la compétition

dépasse aujourd'hui largement les frontières de la sphère économique. Si, dans les sociétés prémodernes, les attributions corporatives prédéterminaient les modes de distribution (on y naît noble, paysan ou commerçant), c'est aujourd'hui la logique de compétition qui détermine les principes de répartition. H. Rosa montre que cette logique s'applique dans la majorité des domaines : de la politique aux arts, en passant par les sciences, voire les liens sociaux. Le seul domaine échappant a priori à cette logique étant les régimes d'allocation sociale (Rosa 2012).

La « *promesse de l'éternité* » exprime le fait que l'accélération sert de stratégie pour effacer la différence entre le temps du monde et le temps de notre vie. Aujourd'hui, la croyance dominante est que « *une vie bonne est une vie accomplie, c'est-à-dire une vie riche d'expériences et de capacités développées* » (Rosa 2012). On souhaite tous « *goûter la vie dans toutes ses dimensions, toutes ses profondeurs et dans sa totale complexité* » (Rosa 2012). Malheureusement (ou heureusement !), le monde a beaucoup plus à offrir que ce qui peut être vécu au cours d'une seule vie. Ainsi, l'accélération apparaît comme notre réponse au problème de la finitude de notre temps sur terre et de la mort. Mais cette conception ne tient pas ses promesses : la proportion d'options réalisées et d'expériences vécues par rapport à celles que nous avons ratées ne peut augmenter en dépit des promesses techniques.

Enfin, le dernier moteur souligné par H. Rosa est celui du cycle de l'accélération. Les trois composantes de l'accélération précédemment décrites s'auto-alimentent : l'accélération technique apporte des changements dans les pratiques sociales qui, eux-mêmes, mènent à une accélération du rythme de vie. H. Rosa explique cela par le fait que le système capitaliste ne peut faire de pause : « *rester immobile est équivalent à retomber en arrière* » (Rosa 2012).

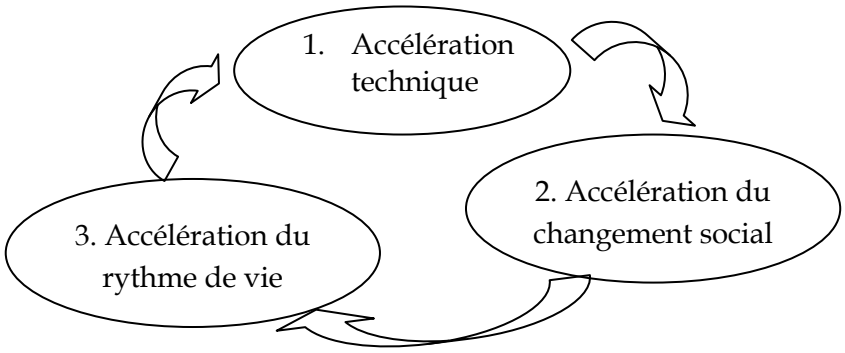


Figure 40. Le cycle de l'accélération (Rosa 2012)

Selon H. Rosa, la vitesse prodigieuse des évènements et transformations cache une profonde inertie structurelle et culturelle. Du fait de l'aliénation à l'accélération sociale, aucun changement profond, qui prend du temps et nécessite une réflexion sur le long terme, ne paraît possible. En effet, le triangle compétition – croissance – accélération forme un « *triangle structurel* » si solidement établi que tout espoir de changement culturel ou politique paraît vain.

La promesse de la technique, entretenue dès le début du XXe siècle, était ainsi de délivrer le monde de toutes les contraintes liées au manque de temps et de la frénésie : émanciper la société du temps, et transformer cette denrée rare en ressource abondante (Rosa 2010). Mais cette promesse n'a pas été tenue. Loin de là. « *Le rythme de la vie s'est accéléré* » et, avec lui, le stress, la frénésie et l'urgence, alors même que nous pouvons constater dans presque tous les domaines de la vie sociale d'immenses gains de temps du fait de l'accélération technique. « *Nous n'avons pas le temps, alors même que nous en gagnons en permanence toujours plus* » (Rosa 2010). Les conséquences sociales de cette accélération sont nombreuses, en particulier dans trois domaines distincts : l'espace, les relations sociales et le monde matériel (Rosa 2010). Par exemple, proximité et distance sociale et émotionnelle ne sont plus liées à la distance spatiale : notre voisin peut être un parfait étranger alors que notre partenaire le plus intime peut habiter de l'autre côté de la planète. D'autre part, d'une compétition historiquement positionnelle, nous sommes passés aujourd'hui à une compétition performative qui implique que la lutte pour la reconnaissance recommence chaque jour, ce qui génère une tendance à l'épuisement (Rosa 2012).

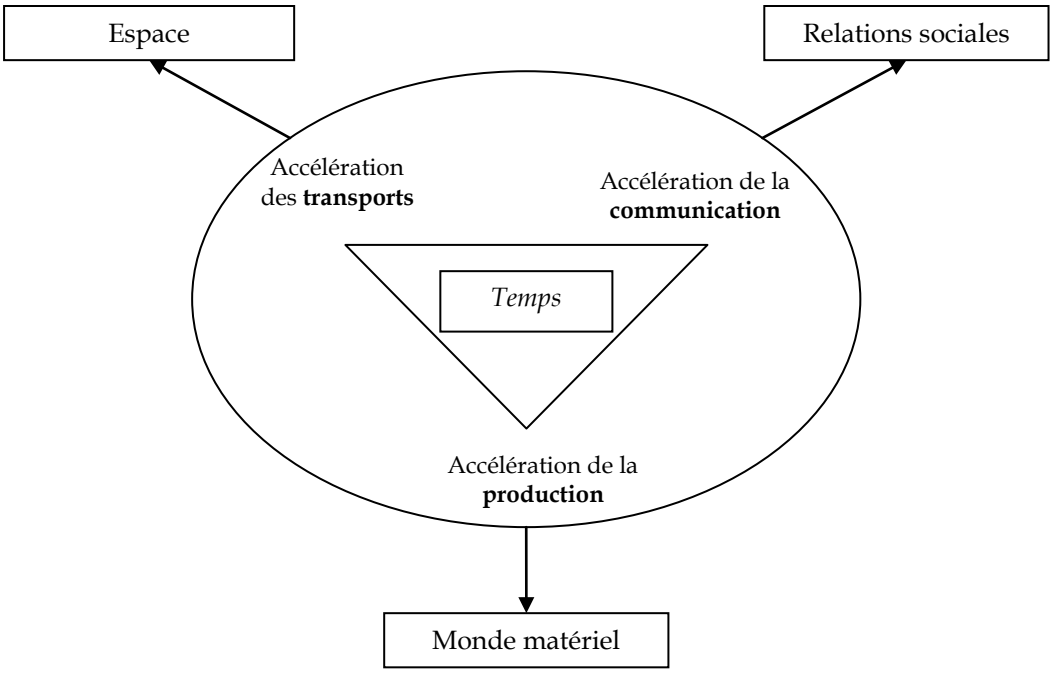


Figure 41. L'accélération technique et la transformation de notre rapport au monde (Rosa 2012)

H. Rosa montre ainsi que la modernité n'a pas tenu ses engagements. Du fait de conditions hétéronomes, la majorité des gens ne peuvent mener une vie autodéterminée. H. Rosa montre que ce phénomène touche non seulement les employés, mais également ceux que l'on appelle communément les décideurs : employeurs et directeurs ne peuvent pas plus maîtriser les règles du jeu que leurs employés. Ils ont juste appris à jouer avec elles avec succès (Rosa 2012). Selon H. Rosa, la promesse initiale du capitalisme, qui consistait à libérer les hommes pour leur permettre de poursuivre leurs projets de vie individuels, n'est plus crédible. Le pouvoir de l'accélération ne peut plus être perçu comme une force libératrice

mais doit être considéré comme une pression asservissante (Rosa 2012). Si, à ces origines, la modernisation était en lien avec un projet de modernité visant à libérer les gens de pressions individuelles ou collectives, « *il s'avère à présent que l'accélération sociale est plus forte que le projet de modernité* » (Rosa 2012). L'autonomie consisterait alors en la promesse que la forme prise par nos vies soit « *le résultat de nos convictions et aspirations culturelles, philosophiques, écologiques et religieuses, et non pas de pressions naturelles, sociales ou économiques « aveugles »* » (Rosa 2012).

Si H. Rosa détaille les conséquences sociales de cette accélération sociale, il évoque peu ses conséquences écologiques. Notre hypothèse est que l'accélération sociale est un facteur à l'origine de l'augmentation des pressions écologiques générées par la société. Nous aimerions questionner cette hypothèse, voire essayer de la valider, dans le cadre de nos recherches futures.

Nous souhaitons ainsi établir les bases d'un questionnement sur **le lien entre le temps, la vitesse et la durabilité**. Plus précisément, nous pourrons approfondir les relations pouvant exister entre, d'un côté, un "capital temps", dont la durée est par définition finie à l'échelle de chaque être humain, mais qui peut paraître infinie à l'échelle de l'Humanité, voire à celle de l'Univers et, d'un autre côté, un "capital naturel" (ressources fossiles, minérales et biologiques, par exemple) qui peut apparaître infini à l'échelle de chaque être humain qui ne possède pas les capacités cognitives pour en percevoir seul les limites, mais dont la quantité est, par nature, une ressource aux dimensions finies à l'échelle de la planète. Notre hypothèse est que cette opposition conduit chaque être humain (du moins au sein des sociétés industrielles occidentales) à préférer consommer plus de ressources naturelles pour essayer de "gagner du temps" : se déplacer plus vite, produire des biens (industriels et agricoles) plus rapidement, consommer des biens déjà confectionnés, etc. A l'échelle industrielle, cela peut nous amener à nous questionner pour savoir si l'augmentation de la productivité industrielle, en termes de temps, se fait, ou non, au détriment de l'efficacité en termes de consommations de matières premières et d'énergie. Le domaine des transports se prête bien pour illustrer cette idée. A coût égal, un "agent économique" rationnel préfèrera choisir une option plus rapide (l'avion plutôt que le train, par exemple) sans prendre en considération les impacts environnementaux, sur le long terme, générés par l'option la plus rapide. Dès le XIX^{ème} siècle, H.D. Thoreau a souligné la potentielle absurdité d'un tel raisonnement dans son ouvrage Walden ou la vie dans les bois, publié en 1854 (Thoreau 1854 (reed. 1990)). En particulier, un passage, repris dans un livre pour enfants (Johnson 2007) interroge la légitimité humaine et économique de la rapidité : deux amis se donnent rendez-vous dans une ville voisine. Henry choisit d'y aller à pied. Son ami choisit de travailler afin de rassembler la somme nécessaire au voyage en train. Il arrivera effectivement un peu avant Henry, mais ce dernier aura eu le temps de profiter des plaisirs de la nature, et de cueillir des fruits des bois qu'il partagera avec son ami. I. Illich reprendra cette idée en proposant la « *vitesse généralisée* », définie comme le rapport de la distance parcourue au temps que l'on met à la parcourir, qui inclut non seulement le temps effectif du déplacement mais également le temps que l'on passe à se donner les moyens du déplacement (Illich 1973). Dans cet ouvrage, I. Illich souligne le lien entre dépenses

énergétiques, vitesse et équité. Dès 1973, I. Illich utilise divers exemples autour du développement de l'automobile, dans diverses sociétés, pour montrer qu'au-delà d'une vitesse critique, personne ne « *gagne* » du temps sans en faire « *perdre* » à quelqu'un d'autre. Celui qui réclame une place dans un véhicule plus rapide considère que son temps vaut plus cher que celui du passager d'un véhicule plus lent. L'œuvre d'I. Illich a eu beaucoup d'écho dans les années 70, mais elle en a moins actuellement. Il nous semble intéressant de reprendre ses raisonnements sur des situations actuelles, liées aux transports, mais également à d'autres domaines (augmentation de la productivité dans les entreprises, par exemple).

Il nous semble également intéressant d'étudier les conséquences environnementales de l'accélération décrite par H.Rosa. Nous essaierons de nous appuyer sur la thermodynamique pour montrer que l'augmentation de la vitesse est souvent liée à une diminution du rendement du fait d'une augmentation des pertes de matières et d'énergie (augmentation des forces de frottement, par exemple), ainsi qu'à des phénomènes d'irréversibilité. L'augmentation de la vitesse semble donc associée à une surconsommation de ressources naturelles (énergétiques et matières premières). Nous pourrons, dans un premier temps, examiner ce lien pour des secteurs d'activités donnés (transports, production industrielle, par exemple). Plus largement, nous pourrons également préciser en quoi cette accélération, qui caractérise notre société, est un facteur déterminant de ses impacts environnementaux. Ces interrogations sont en lien avec la question de l'évaluation environnementale. D'une part, il sera nécessaire d'utiliser des indicateurs environnementaux pour mettre en lien vitesse, accélération et augmentation éventuelle des impacts environnementaux. D'autre part, le temps est un indicateur bien connu et fréquemment utilisé dans de nombreux domaines. Par exemple, un automobiliste sait toujours de quelle durée il a besoin pour effectuer une distance qu'il effectue quotidiennement, mais peu savent identifier précisément les consommations en carburant de leur véhicule pour cette même distance (et encore moins les émissions générées !). Cette question du lien entre temps et impacts environnementaux, bien que pouvant paraître à première vue très conceptuelle, voire philosophique, pourra peut-être, in fine, nous permettre d'améliorer les indicateurs d'évaluation environnementale proposés en les ramenant à des unités temporelles, clairement explicites pour leurs utilisateurs. Par exemple, nous pourrons envisager d'étudier, entre différentes options possibles de transport d'un point A à un point B, le "coût énergétique" associé aux déplacements avec les différents modes de transports (incluant les consommations énergétiques liées à la phase usage ainsi que les coûts énergétiques liés à la fabrication des véhicules, voire des infrastructures de transport). Ces réflexions pourront, en particulier, être menées dans le cadre des travaux sur l'évaluation environnementale des différentes solutions de logistique urbaine (présentée au paragraphe 4.1).

Il nous semble que ces réflexions pourront trouver leur place au sein de l'Atelier 7 Épistémologie & heuristique : temporalité, spatialité, pluralité, crise, histoire, géographie de l'UMR 5600, animée par Thierry COANUS (ENTPE), Isabelle LEFORT (Lyon 2). Nous avons prévu d'exposer nos réflexions dans le cadre de cet atelier en 2015.

4.5 Synthèse de nos perspectives de recherche pour une comptabilité environnementale visant à guider les transitions

Finalement, l'hypothèse principale qui guide nos perspectives de recherches est que les acteurs des différents niveaux décisionnels (du citoyen à l'Etat) ont besoin d'indicateurs pour les aider dans les démarches de transition qu'ils mettent en œuvre. Les pistes de recherche que nous proposons se situent dans une perspective d'évaluation pour accompagner des transitions vers des modèles plus soutenables.

La transition peut être définie comme « *un processus de transformation dans lequel un système (artificiel ou naturel) change de manière fondamentale son fonctionnement et son organisation* » (Boutaud 2012). Ce changement radical peut s'opérer « *soit parce que des éléments extérieurs ont été modifiés, soit parce que des évolutions et des innovations ont eu lieu au sein du système, obligeant celui-ci à s'adapter* » (Boutaud 2012). La gestion de ces transitions, souvent difficiles à anticiper et à maîtriser, nous semble être un défi majeur pour nos sociétés.

Du fait de la mondialisation des systèmes de production, les approches d'évaluation environnementale fondées sur la consommation gagnent aujourd'hui en crédibilité scientifique et politique (paragraphe 3.2.1). L'accessibilité plus grande à des données qui n'étaient jusqu'alors pas disponibles publiquement, ainsi que des possibilités aujourd'hui étendues en termes de traitements, tant quantitatifs que qualitatifs des données, ouvrent de nombreuses perspectives de recherche. Parmi les différentes méthodes de comptabilité environnementale, les méthodologies d'analyse de cycle de vie, de bilan des émissions de gaz à effet de serre et d'empreinte écologique retiennent l'attention de nos travaux de recherche depuis plus de 10 ans. Ces méthodologies suscitent aujourd'hui un intérêt grandissant aux yeux des acteurs de terrain (entreprises, collectivités territoriales). Elles présentent également des limites et verrous scientifiques qui nous paraissent présenter d'intéressantes opportunités de recherche.

Trois axes de recherche, et un axe de réflexion transversal, guident nos perspectives de recherche.

- Notre premier axe de recherche vise à appliquer des méthodes de comptabilité environnementale à des systèmes complexes pour lesquels elles n'ont pas encore été appliquées. Par exemple, nous venons de commencer des travaux de recherche sur l'utilisation de l'analyse de cycle de vie comme outil pour évaluer les impacts environnementaux de différents projets dans le domaine de la mobilité (mobilité des personnes, en collaboration avec le LET, et mobilité des marchandises, dans le cadre de projets sur la logistique urbaine, menés avec la composante génie industriel de notre équipe de recherche). L'utilisation de l'ACV à la mobilité nous semble pertinente, en particulier dans l'optique du développement actuel de la mobilité électrique, qui déplace les impacts de l'utilisation des véhicules vers la phase de production de l'électricité.
- Notre deuxième axe de recherche a pour objectif d'améliorer les outils d'évaluation existant afin de pouvoir les mobiliser davantage dans une perspective d'aide à la décision.

En particulier, la question de la cohérence des différentes méthodologies d'évaluation des pressions environnementales se pose entre les différents niveaux d'étude des systèmes (du microsystème au macrosystème). D'autre part, du fait de la disponibilité croissante des données et dans l'optique d'une utilisation plus large des indicateurs proposés, il nous semble indispensable de poursuivre et de renforcer la réflexion sur l'estimation et la gestion de l'incertitude inhérente aux résultats d'évaluation environnementale.

- Notre troisième axe de recherche propose une réflexion amont sur le thème des nouveaux indicateurs qui pourraient être nécessaires dans une perspective de transition. Deux sujets nous semblent particulièrement mériter l'attention. La question de la *forme* (voire de la morphologie) des indicateurs afin de les rendre les plus pédagogiques possibles et adaptés aux différents publics potentiels d'usagers. Cette question nous semble pouvoir faire l'objet de travaux pluridisciplinaires, en partenariat avec des chercheurs de sciences humaines (psychologie sociale, par exemple). Le deuxième, sujet de réflexion porte sur le *fond du choix* des indicateurs. En particulier, comment représenter la contribution d'un acteur local à des problématiques environnementales pour lesquelles l'écosystème planétaire risque d'atteindre un niveau de dégradation qui dépasse des « *seuils d'irréversibilité* » (changement climatique, biodiversité, cycles de l'azote et du phosphore, par exemple) ? Cet axe nous semble nécessiter une approche pluridisciplinaire, associant les sciences de l'environnement à des spécialistes de différentes sciences : sciences humaines et sociales (psychologie sociale, sociologie, économie, par exemple), biologie, écologie, chimie, etc.
- Enfin, nous ouvrons des pistes de questionnement transverses sur le lien entre le temps, la vitesse et la durabilité. Plus précisément, nous questionnons les relations pouvant exister entre, d'un côté, un « *capital temps* », dont la durée est finie à l'échelle de chaque être humain, et, d'un autre côté, un « *capital naturel* » qui peut apparaître infini à l'échelle de chaque être humain qui n'a pas forcément accès aux connaissances lui permettant d'en percevoir seul les limites, mais dont la quantité est, par nature, finie à l'échelle de la Planète.

5. Ouverture

« *A la fin de l'envoi, je touche.* »

Edmond Rostand. *Cyrano de Bergerac*. 1897

La rédaction de ce mémoire touche à sa fin après avoir duré beaucoup plus longtemps que prévu initialement. Il m'est souvent difficile d'accepter de clore un écrit car il faut alors admettre que celui-ci ne correspondra pas exactement au projet initial. Accepter qu'il soit imparfait, incomplet, insatisfaisant, mais au moins existant et partageable.

Il paraît difficile, voire impossible de conclure sur le thème de l'évaluation environnementale. Ce sujet relativement récent est en effet vaste, complexe, et encore en friche. Dans notre synthèse bibliographique, nous avons vu que de nombreux articles scientifiques alertent sur les risques de conséquences irréversibles et de changements environnementaux brutaux provoqués par l'atteinte des limites planétaires pour différents processus naturels du système Terre. De nombreux rapports appellent à des changements, à court et moyen termes, pour orienter nos modes de vie et mentalités vers une plus large prise en compte des valeurs écologiques et d'équité. Nous avons vu la nécessité de proposer un modèle alternatif d'échange d'informations et de connaissances afin de permettre aux différents acteurs de la société, une meilleure appropriation des connaissances sur les enjeux écologiques et leurs solutions. L'évaluation environnementale relève de cet objectif en visant à donner aux différents acteurs « *une compréhension globale des implications environnementales et sociales* » (Waaub 2012) des différents systèmes potentiellement étudiés (politique, plans et programmes, projets, produits mais aussi activités d'une organisation, d'une entreprise, voire modes de consommation et de production). Plus particulièrement, nous avons vu l'évaluation environnementale comme un moyen de construire de nouvelles représentations de l'environnement afin d'amener les acteurs à prendre en compte certaines préoccupations qu'ils n'envisageraient pas spontanément. D'autre part, nous avons expliqué pourquoi nous essaierons d'éviter de développer des outils d'évaluation reposant, de façon plus ou moins implicite, sur le postulat de substituabilité entre capital naturel et capital humain.

Dans ce contexte, nos travaux de recherche se situent à l'interface entre les outils de niveau "macro" (au niveau national, par exemple) et les outils d'évaluation au niveau "micro" de chaque organisation. Ils s'appuient sur des approches de comptabilité environnementale basées sur les consommations des systèmes étudiés (et non sur leurs seules émissions directes). Positionnés dans une logique de recherche-intervention, ils ont pour objectif de proposer, aux acteurs impliqués, un élargissement de leurs critères de décision à partir des approches multicritères ou représentant les flux biophysiques pour les amener à prendre conscience et à identifier les impacts de leurs activités sur l'environnement afin de les aider à les réduire.

Depuis 2002, nous avons ainsi travaillé avec de nombreux acteurs : petites, moyennes et grandes entreprises, collectivités territoriales de différents niveaux géographiques, services déconcentrés de l'Etat. Afin de répondre aux diverses attentes de ces différents acteurs et aux

situations variées auxquelles ils étaient confrontés, nous avons développé différentes méthodes d'évaluation environnementale, basées sur différents corpus méthodologiques : méthodes d'analyses de risques, outils d'évaluation qualitative à base d'indicateurs, outils d'analyse énergétique, méthodes quantitatives de représentation d'indicateurs (reposant sur les méthodologies d'analyse multicritère et/ou sur les méthodologies de type ACV) ainsi que sur l'empreinte écologique. Cette diversité d'approches méthodologiques et de partenaires de recherche nous a permis de prendre du recul sur les problématiques de l'évaluation environnementale. En particulier, nous soulignons la nécessité d'impliquer les usagers des outils proposés dans les inévitables choix méthodologiques souvent complexes, la difficulté d'accéder à des données pertinentes et fiables, ainsi que les difficultés à systématiser l'utilisation ultérieure des outils développés. Si notre statut de chercheur externe aux organisations partenaires des projets de recherche est souvent un atout pour y apporter un regard critique et transversal faisant fi des hiérarchies traditionnelles, il rend aléatoire le suivi des outils proposés dont l'utilisation nous échappe ensuite. Il est ainsi difficile de trouver un équilibre entre, d'une part, approche normative qui conduirait à "imposer" une certaine vision (éventuellement centrée sur les préoccupations écologiques) aux acteurs concernés versus une approche plus constructiviste qui permettrait aux personnes impliquées une meilleure expression et prise en compte de leurs points de vue. D'autre part, nous avons régulièrement été confrontés au dilemme entre la précision scientifique qui nous semble nécessaire pour représenter la complexité des enjeux écologiques versus la simplification réclamée par les usagers des outils proposés pour faciliter leur prise en compte dans la décision.

Nos perspectives de recherche s'inscrivent dans une volonté de proposer aux acteurs des outils de comptabilité environnementale visant à guider les transitions écologiques et énergétiques. Elles se structurent autour de trois axes de recherche complémentaires et un axe transverse de réflexion.

- Notre premier axe de recherche vise à appliquer des méthodes de comptabilité environnementale à des systèmes complexes tels que la logistique urbaine.
- Le deuxième axe a pour objectif d'améliorer les outils d'évaluation existant dans une perspective d'aide à la décision. En particulier, la question de la cohérence des différentes méthodologies d'évaluation des pressions environnementales se pose entre les différents niveaux (du micro au macro). D'autre part, du fait de la disponibilité croissante des données et dans l'optique d'une utilisation plus forte des indicateurs proposés, il nous semble indispensable de renforcer la réflexion sur l'estimation et la gestion de l'incertitude inhérente aux résultats d'évaluation environnementale.
- Notre troisième axe de recherche propose une réflexion amont sur le thème des nouveaux indicateurs qui semblent nécessaires dans une perspective de transition. Deux sujets nous semblent particulièrement mériter l'attention. La question de la *forme* des indicateurs à privilégier, pour qu'ils soient les plus pédagogiques possibles et adaptés aux différents publics potentiels d'usagers, nous semble devoir faire l'objet de travaux pluridisciplinaires, en partenariat avec des chercheurs de sciences humaines (psychologie sociale par exemple). Sur le *fond du choix* des indicateurs, il nous semble intéressant de mener une réflexion sur les indicateurs pouvant être utilisés afin de représenter la

contribution d'un acteur local à des problématiques environnementales pour lesquelles l'écosystème planétaire risque d'atteindre un niveau de dégradation qui dépasse des « *seuils d'irréversibilité* » (changement climatique, biodiversité, cycles de l'azote et du phosphore, par exemple). Cet axe de recherche nous semble nécessiter une approche pluridisciplinaire, associant les sciences de l'environnement à des spécialistes de différentes sciences : sciences humaines et sociales (psychologie sociale, sociologie, économie, par exemple), biologie, chimie, etc.

- Enfin, nous ouvrons des pistes de réflexion transverses sur le lien entre le temps, la vitesse et la durabilité. Plus précisément, nous souhaiterions pouvoir approfondir les relations pouvant exister entre, d'un côté, un « *capital temps* », dont la durée est finie à l'échelle de chaque être humain, et, d'un autre côté, un « *capital naturel* » qui peut apparaître infini à l'échelle de chaque être humain qui ne possède pas les capacités cognitives pour en percevoir seul les limites, mais dont la quantité est, par nature, finie à l'échelle de la Terre.

En guise d'ouverture, nous souhaitons finir ce mémoire avec quelques réflexions un peu moins "scientifiques" et plus personnelles. Changer le thermomètre, en proposant de nouveaux outils d'évaluation, ne suffira pas à répondre aux enjeux écologiques. Sans remettre en cause la nécessité de développer de nouvelles technologies, plus sobres, plus "propres", et présentant moins de risques, nous pensons que les enjeux écologiques et sociaux sont trop complexes, interreliés et multiples pour être abordés sous l'angle d'une vision purement technologique. Des modifications profondes des modes de production et de consommation sont donc nécessaires (ceci était déjà reconnu dans le cadre du plan d'action dit « *Agenda 21* » issu du sommet de la Terre de Rio, en 1992). Mais il s'avère que ces modifications sont indissociables d'une remise en cause plus radicale de la façon dont nos sociétés occidentales sont organisées. En effet, les modes de décision actuels, tant individuels que collectifs, semblent bien impuissants pour prendre en compte sérieusement leurs impacts sur l'environnement. Des voix de plus en plus nombreuses dénoncent, entre autres, la focalisation de notre société sur la production et son objectif de croissance quantitative et économique (voir par exemple les publications de A. Gras, J.M. Harribey, D. Meda (Meda 2013), (Gadrey 2010)) et, à l'international (Jackson 2010), (Costanza et al. 2013)). Si les débats sur ce sujet, initiés dans les années 1972 par le célèbre rapport au Club de Rome, *Limits to growth* (Meadows et al. 1972), ont avorté suite aux chocs pétroliers, on peut espérer que les débats actuels trouvent plus d'échos dans le cadre d'une situation écologique, sociale et économique différente.

On ne peut en effet qu'être sceptique face aux capacités des systèmes économiques actuels, fortement dépendants de cette croissance, à proposer, voire imposer, les changements réels et profonds qui sont nécessaires face aux enjeux écologiques. Si de nouveaux modèles économiques émergent actuellement (économies dites « *de fonctionnalité* », « *sociale et solidaire* », « *coopérative* », « *de proximité* », par exemple), ces initiatives restent généralement ponctuelles, difficiles à émerger et à pérenniser dans les "règles du jeu" économiques actuelles.

Peut-on attendre davantage de l'émergence d'une force politique qui mettrait sur le devant de la scène ces enjeux ? Nous n'avons pas vraiment abordé les enjeux politiques dans ce mémoire car nous ne nous sentons pas légitimes dans ce domaine qui fait appel à des compétences que nous n'avons pas. Cependant, force est de constater, au moins en France, que, même s'ils émergent ponctuellement et médiatiquement dans les débats, les enjeux écologiques peinent à trouver une place stable et stratégique dans les préoccupations et choix politiques. Nous nous permettons donc d'être également sceptiques quant à la capacité d'un groupe politique, quel qu'il soit, à imposer, parfois contre les intérêts de court terme des acteurs "forts", les changements et ruptures qui semblent nécessaires face aux enjeux écologiques.

Alors, quoi ?... Ne reste-t-il plus qu'à attendre le déluge et un providentiel Noé qui sauverait les espèces végétales, animales et les hommes ?... Nous préférons faire reposer notre espoir sur une prise de conscience écologique mieux partagée entre les différents individus qui forment la société. Pour diffuser cette prise de conscience, les acteurs dits de la « *société civile* », ou « *acteurs tiers* », comme les nomment H. Mintzberg (Mintzberg 2013), nous semblent prendre une place de plus en plus forte dans l'impulsion des changements de la société française, que ce soit dans une perspective écologique, sociale ou culturelle. Les exemples sont nombreux : associations locales telles que les AMAP (Associations pour le Maintien d'une Agriculture Paysanne) qui rapprochent paysans et consommateurs pour garantir un revenu plus stable aux premiers et des produits moins chers et de meilleure qualité aux seconds en évitant les circuits classiques de distribution ; les ateliers participatifs de réparation de vélos qui encouragent l'utilisation du vélo en rendant les cyclistes autonomes par rapport à leurs réparations ; coopératives d'auto-partage pour limiter le nombre de véhicules possédés individuellement ; mobilisations locales pour porter des projets d'énergies renouvelables, réseaux sociaux ou sites internet mettant en relation les gens afin de faciliter le covoiturage, l'échange d'objets ou de services … Si ces réseaux n'ont pas tous, loin de là, une finalité écologique, ils relèvent de "nouvelles formes" de solidarité, d'actions et d'échanges de savoirs et connaissances. Par exemple, les AMAP permettent aux consommateurs d'être plus sensibles aux difficultés rencontrées par les paysans, et donc d'être plus indulgents et d'adapter leur consommation en fonction de la production, et non l'inverse. Les réseaux de cyclistes permettent l'échange de connaissances quant aux itinéraires et pratiques les plus sûrs pour se déplacer en ville. Ils peuvent également être un interlocuteur privilégié, à la fois « citoyen » et « expert », pour aider les collectivités locales à définir leurs aménagements cyclables. Ces réseaux, plus ou moins formels, entre personnes, basés sur une forme de proximité (géographique, intellectuelle, culturelle) nous semblent donc être prometteurs pour véhiculer les connaissances et valeurs[28] sur lesquelles les changements nous semblent devoir reposer. D'autre part, la proximité et la forme participative de ces réseaux assure l'appropriation, par les personnes impliquées, des nouvelles pratiques mises en place collectivement. Ces formes de mobilisation collective sont parfois longues et complexes à se mettre en place, mais elles nous semblent présenter un

[28] Au sens moral plus qu'économique, mais ces réseaux sont également porteurs de nouvelles formes de création de valeur au sens économique du terme

atout indéniable : outre la mise en place de changements concrets, elle génère du lien social entre des personnes qui peuvent partager un même quartier, des affinités, mais qui ne se connaitraient pas sans ces dynamiques. Nous avions souligné dans ce mémoire la difficulté de mobiliser les acteurs en l'absence d'objectifs personnels attendus dans la mise en place d'actions écologiques. Il nous semble que cette création de lien social dans le cadre d'implication dans des dynamiques écologiques est une perspective prometteuse en ce sens.

Cette question du lien social nous semble d'autant plus cruciale que les formes actuelles de reconnaissance sociale, actuellement principalement basées sur la réussite matérielle (avoir une belle maison, une belle voiture, de beaux écrans, etc.), nous semblent être incompatibles avec les enjeux écologiques. Nous avons par exemple montré que les ménages à plus hauts revenus étaient également ceux qui présentaient les plus fortes empreintes écologiques (Gondran, Boutaud 2013) ou émissions de CO_2 liées à la mobilité (François 2014). Cette question de la reconnaissance sociale, moteur de la compétition économique et sociale (Rosa 2012), nous semble être cruciale. Un autre enjeu crucial nous semble être la difficulté de mettre en place des changements qui conviennent à la majorité des personnes. Dans cet objectif, il nous semble important, même si totalement utopique, d'essayer de prendre en compte les attentes et contraintes des différents acteurs. Mais comment faire évoluer les rapports humains vers un respect mutuel de la diversité afin de définir ensemble des solutions, et non sur des relations de pouvoir, de compétition et de logiques de domination (qu'elle soit traditionnelle, charismatique, économique, politique, hiérarchique, ou psychologique) ?

Une étape qui nous paraît indispensable à ces changements nous semble être la prise de conscience, par chacun d'entre nous, des "dommages collatéraux" que nos modes de vie génèrent (ce à quoi nos travaux ont pour vocation d'apporter une modeste contribution), mais également des possibilités de "faire autrement" et des divers freins et barrières qui s'opposent aux changements. Il nous semble nécessaire d'essayer d'accueillir et d'accepter ces freins et barrières aux changements. Par exemple, D. Meda montre que la fonction de la production ne se limite pas à la satisfaction des besoins matériels des hommes. « *Elle permet aussi de tenir ensemble des individus qui ont inventé des règles rendant l'ordre social (humain, trop humain…) aussi solide que l'ordre naturel antérieur* » (Meda 2013). Ne pas prendre en considérations ces fonctions apparemment secondaires condamnerait à l'échec toute tentative de remise en cause du modèle actuel. Il me semble donc nécessaire de ne pas ignorer ni rejeter les freins et barrières, mais de les observer avec bienveillance pour mieux les comprendre et les dépasser.

La question se pose souvent, quand on aborde les sujets évoqués dans ce mémoire, de choisir entre l'optimisme ou le pessimiste. Avouons que les difficultés des institutions, qu'elles soient économiques, administratives ou politiques, à mettre en place les changements profonds auxquels appellent les enjeux écologiques, inspirent plutôt le pessimisme… La bonne nouvelle est que chacun, à son propre niveau, peut s'emparer de ces questions et « *changer la vie* » à sa modeste échelle…

6. Bibliographie

AASQA de la région Rhône Alpes 2010, *Cadastre 2000-2007 des émissions atmosphériques de la région Rhône-Alpes*, Lyon.

ADEME 2008, *Charte de la compensation volontaire des émissions de gaz à effet de serre*, Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire, Paris.

AFNOR 2009, *NF ENV 13005 - Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure*, AFNOR ed., Paris.

AFNOR 2003, *SD 21000 - Développement durable, responsabilité sociétale des entreprises, guide pour la prise en compte des enjeux du développement durable dans la stratégie et le management des entreprises FDX 30-021,* AFNOR edn, , Paris.

AFNOR 1981, *ISO 5127-3A:1981 - Information et documentation. Vocabulaire. Chapitre 3A) : acquisition. identification et analyse des documents et des données*.

Akoun, A. & Ansart, P. 1999, *Dictionnaire de sociologie,* Le Robert edn, Seuil, Paris.

Alm, A.L. 1988, "NEPA: Past, Present, and Future", *EPA Journal,* no. January/February 1988.

André, P. 1999, *L'évaluation des impacts sur l'environnement - Processus, acteurs et pratiques,* Presses internationales polytechniques, Canada.

André, P. & Bitondo, D. 2001, *Élaboration d'un cadre conceptuel et méthodologique pour l'évaluation intégrée des impacts des projets d'infrastructures linéaires sur la qualité de vie* .

Andrieu, D., Chesneau, E., Douvinet, J., Graillot, D., Paran, F., Piatyszek, E., Rode, S., Sajaloli, B., Serrhini, K. & Servain-Courant, S. 2013, *Projet CEMORAL : Conscience, Evaluation et Mise en œuvre des Outils de prévention du Risque d'inondation – Application au bassin de la Loire. Rapport final.*, Plan Loire Grandeur Nature 3, FEDER, EPL, ENSM-SE, USR 3501, MSH Val de Loire, ISTHME EVS UMR 5600 CNRS, ESPACE UMR 7300, CITERES UMR 6173, Art-Dev UMR 5281, CEDETE EA 1210, Saint-Etienne.

Anthony, R. & Walker, R.G. 1993, *La fonction contrôle de gestion,* Publi-Union edn, , Paris.

Arrow, K. 1976, *Les limites de l'organisation,* Presses Universitaires de France, Paris.

ASCONIT Consultants, Biotope, CREDOC & PARETO 2009, *Evaluation des sevrives rendus par les écosystèmes en France. Etude exploratoire,* Ministère de l'Ecologie, l'energie, le Développement Durable et la Mer edn, , Paris.

Asheim, G., B. 2011, *Hartwick's rule*, Department of Economics, University of Oslo, Oslo.

Assemblée nationale 2014, *Amendement n°2325 au Projet de loi relatif à la transition énergétique pour la croissance verte*, Projet de loi edn, Amendements, Paris.

Baillon, F. 1999, *Intérêt d'un simulateur pédagogique de conduite de projet pour l'analyse de modelés hydrodynamiques : application à un projet de dépollution*, Thèse de doctorat de l'INSA de Lyon.

Barbarino, N. 2005, *De la qualité de vie au diagnostic urbain, vers une nouvelle méthode d'évaluation – Le cas de la ville de lyon*, thèse de doctorat de l'Université de Lyon 2.

Barnett, H. & Morse, C. 1963, *Scarcity and Growth*, Resources for the Future, Washington, D.C.

Barnosky, A., D., Hadly, E., A., Bascompte, J., Berlow, E., Brown, J., Fortelius, M., Getz, W., Harte, J., Hastings, A., Marquet, P., Martinez, N., Mooers, A., Roopnarine, P., Vermeij, G., Williams, J., Gillespie, R., Kitzes, J., Marshall, C., Matzke, N., Mindell, D., Revilla, E. & Smith, A. 2012, "Approaching a State Shift in Earth/'s Biosphere", *Nature,* vol. 486, no. 7401, pp. 52-58.

Barnosky, A., D., Matzke, N., Tomiya, S., Wogan, G., Swartz, B., Quental, T., B., Marshall, C., McGuire, J., L., Lindsey, E., L., Maguire, K., C., Mersey, B. & Ferrer, E., A. 2011, "Has the Earth/'s Sixth Mass Extinction Already Arrived?", *Nature,* vol. 471, pp. 51-57.

Bassi, A.M. & Fula, S. (eds) 2012, *Measuring progress towards a green economy*, United Nations Environment Programme, Paris.

Bastianoni, S., Pulselli, F.M. & Tiezzi, E. 2004, "The problem of assigning responsibility for greenhouse gas emissions", *Ecological Economics,* vol. 49, no. 3, pp. 253-257.

Beaune, P. 1992, *Acquisition interactive de la connaissance par un système télématique dans le domaine de l'assainissement de l'eau*, Université de Montpellier 2.

Bebbington, J., Brown, J. & Frame, B. 2007, "Accounting technologies and sustainability assessment models", *Ecological Economics,* vol. 61, no. 2–3, pp. 224-236.

Benchekroun, H. & Withagen, C. 2011, "The optimal depletion of exhaustible resources: A complete characterization", *Resource and Energy Economics,* vol. 33, no. 3, pp. 612-636.

Berger-Douce, S. 2008, *La responsabilité sociétale des PME : de l'analyse des pratiques à la formulation de stratégies d'appropriation*, Habilitation à Diriger des Recherches en Sciences de Gestion, Université de Bretagne Occidentale – IAE de Brest.

Bernier, A. mis en ligne le 20 janvier 2010, "Augustin Fragnière, 2009, *La compensation carbone : illusion ou solution ?,* PUF, 208 p.", *Développement durable et territoires [En ligne],* [Online], vol. Lectures, , pp. 27 mai 2014. Available from: http://developpementdurable.revues.org/8260. [27 mai 2014].

Bernoux, P. 1990, *La sociologie des organisations,* Point edn, Seuil, Paris.

Blanc, I., Friot, D., Cabon, J., Mäenpää, I., Steinberger, J., Krausmann, F., Erb, K., Tukker, A., Vercalsteren, A. & Van Hoof, V. 2009, *Evaluation of Environmental Accounting Methodologies for the assessment of global environmental impacts of traded goods and services.*, Report to SKEP, Sophia Antipolis.

Boeglin, N. & Veuillet, D. 2005, *Introduction à l'Analyse de Cycle de Vie (ACV)*, ADEME, Note de synthèse externe, Paris.

Boiteux, M. 2001, *Transports : choix des investissements et coût des nuisances*, Commissariat général du Plan, Paris.

Boubaker, L., Djebara, M. & Gondran, N. 2011, "Maîtrise des impacts environnementaux par la modélisation du système physique", *Déchets - Sciences et Techniques,* vol. 60, pp. 18-24.

Boubaker, L., Djebara, M. & Gondran, N. 2008, "Vers une combinaison ACV / AMDEC en vue de l'analyse environnementale d'une cimenterie algérienne", *Déchets - Sciences et Techniques,* vol. 52.

Bouleau, G. 2013a, "Le bon état des eaux : sociologie politique de l'écologie fluviale française et européenne (1960-2010)", *1er Congrès AFSP ST 20 / Vers une sociologie politique des sciences ?* Association Française de Science Politique, Paris.

Bouleau, G. 2013b, "Le projet CHIFFRE "Comment les indicateurs écologiques de l'eau et de la forêt s'articulent aux cycles de "grandeur et décadence" des problèmes publics"", *Séminaire AO INDECO "Indicateurs environnementaux"*Institut CARNOT Interétablissements, Paris, 23 octobre 2013.

Boutaud, A., 2012, *La transition, entre théorie et pratique - Du transition management aux initiatives de transition - résilience*, Direction de la Prospective et du Débat Public du Grand Lyon, Talloires.

Boutaud, A. 2005, *Le développement durable : penser le changement ou changer le pansement ?*, These de doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne.

Boutaud, A. 2003, "Développement durable : à la recherche des bons indicateurs", *Problèmes économiques,* , pp. 1-3.

Boutaud, A. 2002, *Elaboration de Critères et Indicateurs de Développement Durable (CIDD) pour les collectivités locales*, Lyon.

Boutaud, A. 2001, *Evaluation des politiques des Villes en matière de développement durable : quelles méthodes de diagnostic pour quel développement durable ?*, DEA Villes et Sociétés. Institut d'Urbanisme de Lyon.

Boutaud, A. & Gondran, N. 2011, *Etude de faisabilité d'un calcul d'empreinte écologique à l'échelle des régions françaises*, Rapport pour la Région Nord Pas de Calais, Saint-Etienne.

Boutaud, A. & Gondran, N. 2009, *L'empreinte écologique,* Collection Repères edn, La Découverte, Paris.

Boutaud, A., Gondran, N. & Brodhag, C. 2006, " Local Environmental quality versus (global) ecological carrying capacity: What might alternative aggregated indicators bring to the debates about Environmental Kuznets Curves and Sustainable Development?", *International Journal of Sustainable Development,* vol. 9, no. 3, pp. 297-310.

Boutaud, A., Gondran, N. & Brodhag, C. 2004, "Courbes de Kuznets environnementales : l'apport des indicateurs alternatifs de type empreinte écologique dans la réflexion sur le développement durable. ", *Colloque international francophone « Développement durable : leçons et perspectives »*Agence Universitaire de la Francophonie, Ouagadougou, 1 - 5 juin 2004.

Boutillier, S. 2011, "L'écologie dans la pensée économique", *Colloque international francophone, « Le développement durable : débats et controverses »* Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, 15 et 16 décembre 2011.

Bringault, A. 2014, 18 juin 2014-last update, *Transition énergétique : tout ça pour ça ?* [Homepage of Réseau Action Climat France], [Online]. Available: http://www.rac-f.org/Transition-energetique-tout-ca [2014, 07/27].

Brodhag, C., Gondran, N. & Delchet, K. 2004, "Du concept à la mise en œuvre du développement durable : théorie et pratique autour de guide SD 21000", *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne],* [Online], vol. 5, no. n°2, pp. 21 mai 2013. Available from: http://vertigo.revues.org/3482.

Brugere-Trélat, V. (ed) 1984, *Dictionnaire Hachette de la langue française*, Hachette edn, Evreux.

Burlat, P. 1996, *Contribution à l'évaluation économique des organisations productives : vers une modélisation de l'entreprise-compétences*, Thèse pour le doctorat de sciences économiques. économie de la production : Université Lumière Lyon 2.

Cappelletti, I. 2010, "La recherche-intervention : quels usages en contrôle de gestion ?", *Congrès de l'Association Francophone de Comptabilité (AFC)*Association Francophone de Comptabilité, Nice, 5 mai 2010.

Cazenave, R. 2006, *Maîtrise de l'Energie dans l'habitat privé*, master recherche « Sciences de l'Environnement Industriel et Urbain », Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne.

Centre d'Évaluation, de Documentation et d'Innovation Pédagogiques (CEDIP) 2006, 22 mars-last update, *evaluation ex ante* [Homepage of Ministère de l'Ecologie, du développement Durable et de l'Energie], [Online]. Available: http://www.cedip.equipement.gouv.fr/evaluation-ex-ante-a141.html [2014, 07/28].

Chapel, L., Deffuant, G., Martin, S. & Mullon, C. 2008, "Defining yield policies in a viability approach", *Ecological Modelling,* vol. 212, no. 1–2, pp. 10-15.

Cikankowitz, A. 2005, *Etude des modalités de mise en œuvre d'un Système de Management environnemental en amont de la réalisation d'un projet routier : Application en phase « études de projet » pour la DDE de la Loire, sur l'opération des Tuileries.*, master recherche « ''Systèmes Territoriaux, Développement Durable et Aide à la Décision'', Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne,.

Clergeau, C. 29/04/2014, "Développement durable et transition écologique : l'Etat n'y arrivera pas tout seul.", *Le Huffington Post,* [Online], , pp. 27/07/2014. Available from: http://www.huffingtonpost.fr/christophe-clergeau/developpement-durable-action-regionale_b_5226767.html. [27/07/2014].

CNRS - Institut écologie et environnement 2013, 18 novembre 2013-last update, *Mission de l' Institut écologie et environnement* [Homepage of CNRS], [Online]. Available: http://www.cnrs.fr/inee/presentation/missions.htm [2014, 6 Juillet].

Cochet, Y., Billard, M., Mamère, N. & De Rugy, F.Y. 2009, *Proposition de loi tendant à réduire l'empreinte écologique de la France,* Assemblée Nationale edn, Paris.

Connaissance des énergies 2014, "Pic pétrolier", *Connaissance des énergies,* [Online], no. 13 août 2014, pp. 5 septembre 2014. Available from: http://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/pic-petrolier.

Connaissance des énergies 2013, 5 février 2013-last update, *Quelle est la différence entre les ressources et les réserves d'hydrocarbures ?*. Available: http://www.connaissancedesenergies.org/quelle-est-la-difference-entre-les-ressources-et-les-reserves-d-hydrocarbures-130205 [2014, 3 juin 2014].

Conseil National des Universités, *Energétique, génie des procédés*. Available: http://www.cpcnu.fr/web/section-62 [2013, 28 octobre].

Cornut, P. 2008, "Co2lonialisme", *S!lence,* vol. 361, pp. 16-18.

Cornut, P. 1999, "Développement durable ou "air chaud tropical" : de l'application conjointe au mécanisme de développement propre", *Les cahiers de Global Chance,* vol. 12, pp. 64-72.

Costanza, R. 2003, "The Early History of Ecological Economics and the International Society for Ecological Economics (ISEE)" in *Internet Encyclopaedia of Ecological Economics*, International Society for Ecological Economics edn,.

Costanza, R., Cumberland, J., Daly, H., Goodland, R. & Norgaard, R. (eds) 1997, *An Introduction to Ecological Economics*, St. Lucie Press edn.

Costanza, R. & Daly, H., E. 1992, "Natural Capital and Sustainable Development Source: Conservation Biology", *Conservation Biology,* vol. 6, no. 1, pp. 37-46.

Costanza, R., Kubiszewski, E., Alperovitz, G., Schor, J., Daly, H., Jackson, T., Victor, P., Farley, J. & Franco, C. 2013, *Vivement 2050 ! Programme pour une économie soutenable et désirable,* Les Petits Matins et Institut Veblen edn, , Paris.

CP/RAC 2008, "Methodological challenges and strategic opportunities of the consumption-based approach to greenhouse gas emissions in the Mediterranean — summary of key opportunities and recommendations", *Workshop on Consumption and Climate Change*, ed. Regional Activity Centre for Cleaner Production (CP/RAC), Mediterranean Action Plan, United Nations Environment Programme, Barcelona, Spain, 4 November 2008.

Cres, F.N. 1989, *Contribution des systèmes à bases de connaissances en sciences de l'eau; Promise : un simulateur de projet; Moïse : un système de diagnostic en assainissement autonome.*, Thèse de doctorat de l'Ecole Nationale supérieure des Mines de Paris et de l'Ecole Nationale supérieure des Mines de Saint-Etienne.

Crozier, M. & Friedberg, E. 1977, *L'acteur et le système,* ED. du Seuil edn, , Paris.

Dabee, R. 2007, *Encouragement des économies d'énergie et énergies renouvelables dans l'habitat privé : quel rôle pour l'Etat ?*, master recherche « Sciences de l'Environnement Industriel et Urbain », Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne.

Daly, H. 2002, "Sustainable development: definitions, principles and policies", *Invited address, World bank*Washington D.C., 30 April 2002.

Danic, I. 2006, "La notion de représentation pour les sociologues. Premier aperçu", , ed. V. Goueset, ESO - Espaces et SOciétés, UMR 6590, Rennes, ESO - Travaux et documents.

Dasgupta, P. & Heal, G. 1974, "The Optimal Depletion of Exhaustible Resources", *The Review of Economic Studies,* vol. 41, no. Symposium on the Economics of Exhaustible Resources, pp. 3-28.

David, B. 2008, *Etude pour la création d'un outil de préconisation en matière de rénovation thermique à l'intention des propriétaires occupants*, master recherche « Sciences de l'Environnement Industriel et Urbain », Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne.

De Caevel, B. & Ooms, R. 2005, *Typologie des enjeux environnementaux et usages des différentes méthodes d'évaluation environnementale, notamment dans le domaine des déchets et des installations industrielles.*, RECORD, Bruxelles.

Del Vecchio, S. 2006, *Mesure quantitative des impacts de risque en contexte d'impartition*, Université de Montréal.

Delchet, K. 2006, *La prise en compte du développement durable par les entreprises, entre stratégies et normalisation. Etude de la mise en oeuvre des recommandations du guide Afnor SD21000, au sein d'un échantillon de PME françaises.*, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne; Université Jean Monnet - Saint-Etienne.

Delchet, K., Gondran, N. & Brodhag, C. 2008, "La prise en compte des parties intéressées : une condition nécessaire de la responsabilité sociétale des entreprises mais non suffisante dans une perspective de développement durable - Analyse des résultats des expérimentations du guide Afnor SD21000 auprès de 78 entreprises.", *Revue Internationale PME,* vol. 20, no. 3-4, pp. 121-145.

Depeau, S. 2006, "De la représentation sociale à la cognition spatiale et environnementale : La notion de "représentation" en psychologie sociale et environnementale", *ESO - Travaux et Documents*, ed. V. Goueset, ESO- espaces et SOciétés, UMR 6590, rennes, décembre 2006.

Désenfant, M., Fischer, N., Blanquart, B. & Bédiat, N. 2007, "Evaluation de l'incertitude en utilisant les modélisations de Monte-Carlo", *Conférence du 13e congrès international de métrologie*, ed. LNE (laboratoire National de métrologie et d'Essais), Lille, 18 au 21 juin.

Dessus, B. 2012, "Choix énergétiques : un débat biaisé", *Pour la science,* vol. 414, pp. 30-35.

Dessus, B. 2007, "Energie nucléaire et développement durable", *Encyclopédie du développement durable,* [Online], no. mai 2007, pp. 5 septembre 2014. Available from: http://encyclopedie-dd.org/encyclopedie/territoires/3-1-quels-choix-energetiques/energie-nucleaire-et-developpement.html.

Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques -SEI Direction Générale de l'Urbanisme, de l'Habitat et de la Construction 2007, *Le plan de prévention des risques technologiques (PPRT) - Guide méthodologique,* Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durables edn, , Paris.

Direction de la Stratégie, de la Recherche et de l'Evaluation d'Irstea & Direction de l'institut Carnot M.I.N.E.S 2013, *APPEL à Projets Irstea - Mines INDECO « INDICATEURS ENVIRONNEMENTAUX »*, Réseau Carnot, Paris.

Duan, Y., Nie, W. & Coakes, E. 2010, "Identifying key factors affecting transnational knowledge transfer", *Information & Management,* vol. 47, no. 7–8, pp. 356-363.

Dubois, D. & Prade, H. 1995, "La logique floue" : un outil pour appréhender pratiquement la similarité, les préférences, et l'incertitude dans les systèmes d'inférence", *Quaderni,* vol. 25, no. Printemps 1995, pp. 59-73.

Duchemin, N. 2005, *Evaluation des enjeux de l'intégration du développement durable eut égards aux contraintes de la mondialisation dans les PME - PMI - Etude de cas en Rhône-Alpes*, Master "Systèmes territoriaux, Développement Durable et Aménagement du territoire".

Dumoulinneuf, S. 2014, *Evaluation a priori des impacts et performances d'actions proposées dans le cadre de la démarche de responsabilité sociétale d'une entreprise de distribution*, Thèse de doctorat en génie industriel, présentée devant l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne.

Dumoulinneuf, S. 2010, *Développement d'une méthode d'évaluation des impacts environnementaux liés aux activités de la station d'épuration Furania (Saint-Etienne)*, master recherche « Sciences de l'Environnement Industriel & Urbain (SEIU) », Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne.

Dumoulinneuf, S., Gondran, N. & Laforest, V. 2011, *Méthode d'évaluation environnementale pour une station d'épuration : Proposition d'une méthode de représentation des impacts environnementaux adaptée à la station d'épuration de Saint-Etienne*, Ecole Nationale Supérieure des Mines de saint-Etienne, Saint-Etienne.

Dumoulinneuf, S., Gondran, N. & Burlat, P. 2013, "Quelle articulation des problématiques sociales et environnementales au sein des organisations ?", *8eme Congrès du RIODD* RIODD, Lille, 18-21 Juin 2013.

Durkheim, E. 1898, "Représentations individuelles et représentations collectives", *Revue de Métaphysique et de Morale,* vol. tome VI.

Dutil, Y. & Rousse, D. 2012, "retour sur l'investissement énergétique des systèmes de production électrique", *2eme CONférence Francophone sur l'Ecoconception en génie Electrique*CONFREGE, Montréal, Mai 2012.

EcoSD 2014, Juin-last update, *Bienvenue sur le site du Réseau EcoSD* [Homepage of EcoSD], [Online]. Available: http://www.ecosd.fr/fr/presentation.php?PHPSESSID=3a4eh0la21neqdvv39l781hhd0 [2014, 9 Juillet].

Ehrlich, P.R. & Mooney, H.A. 1983, "Extinction, substitution and ecosystem services".", *Bioscience,* vol. 33, pp. 248-254.

El Bouazzaoui, I. 2008, *L'empreinte écologique : Proposition d'un modèle synthétique de représentation des empreintes à l'échelle « Micro » d'une organisation ou d'un projet*, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne.

ESTER, l'Est STéphanois En Réseau 2013, *Bienvenue sur le site d'ESTER, l'Est STéphanois En Réseau !* Available: http://www.technopole42.com/index.htm [2013, 19 septembre].

Felstiner, W.L.F., Abel, L.R. & Sarat, A. 1980/1981, "The emergence and transformation of disputes: naming, blaming, claiming", *Law and society review,* vol. 15, no. 3-4, pp. 631-655.

Flipo, F. 2013, *Statut et portée de l'écologie politique. Contribution à une anthropologie de la globalisation et de la modernité 2013*, Mémoire d'Habilitation à Diriger les Recherches. Université Paris Diderot.

Främling, K. 1996, *Modélisation et apprentissage des préférences par réseaux de neurones pour l'aide à la décision multicritère*, INSA de Lyon.

François, C. 2014, *For an environmental evaluation of urban mobility based on a LCA approach*, Cranfield University.

Friot, D. 2009, *Comptabilité environnementale et mondialisation : Quels défis ? Quels modèles pour y répondre ? Application d'un modèle économie - environnement - impacts à l'évaluation des impacts environnementaux en Chine induits par l'Europe, et aux taxes carbones aux frontières de l'UE*, These de doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris.

Gadrey, J. 22 septembre 2011, "Préserver la nature en lui donnant un prix ?", *Blog d'alternatives économiques,* [Online] Available from: http://alternatives-economiques.fr/blogs/gadrey/2011/09/22/preserver-la-nature-en-lui-donnant-un-prix/. [30 juillet 2013].

Gadrey, J. 22 avril 2011, "Sur la valeur économique des chauves-souris comme pesticides", *Blog d'alternatives économiques,* [Online], , pp. 30 juillet 2013. Available from: http://alternatives-economiques.fr/blogs/gadrey/2011/04/22/sur-la-valeur-economique-des-chauves-souris-comme-pesticides/. [30 juillet 2013].

Gadrey, J. 2010, *Adieu à la croissance,* Les Petits Matins, Paris.

Gadrey, J. & Jany-Catrice, F. 2005, *Les nouveaux indicateurs de richesses,* Coll. Repères edn, La Découverte, Paris.

Gadrey, J. & Meda, D. 2009, Juin 2009-last update, *Commission Stiglitz : un diagnostic juste, des propositions (encore) timides* [Homepage of IDIES], [Online]. Available: http://www.idies.org/index.php?post/Commission-Stiglitz-%3A-un-diagnostic-juste-des-propositions-decevantes2 [2013, 2 avril 2013].

Galbraith, J. 1977, *Organisational Design,* Reading edn, , Addison-Wesley, MA, USA.

Galli, A., Wiedmann, T., Ercin, E., Knoblauch, D., Ewing, B. & Giljum, S. 2012, "Integrating Ecological, Carbon and Water footprint into a "Footprint Family" of indicators: Definition and role in tracking human pressure on the planet", *Ecological Indicators,* vol. 16, no. 0, pp. 100-112.

Garnier, C. 2000, "contribution de la théorie des représentations sociales au champ de l'éducation relative à l'environnement", *Revue internationale des sciences de l'éducation,* vol. 4, pp. 23-41.

Gasparatos, A. & Scolobig, A. 2012, "Choosing the most appropriate sustainability assessment tool", *Ecological Economics,* vol. 80, no. 0, pp. 1-7.

Gauthier, M., Simard, L. & Waaub, J. 2011, "Public participation in strategic environmental assessment (SEA): Critical review and the Quebec (Canada) approach", *Environmental Impact Assessment Review,* vol. 31, no. 1, pp. 48-60.

Gendron, C. & Audet, R. 2014, "L'entreprise responsable dans la transition écologique- Appel à article", *Revue de l'organisation responsable,* vol. 8, no. 2.

Gentils, A. & Gondran, N. 2003, *Etude de faisabilité d'un système de management environnemental à la DDE de la Loire pour la mise à 2X2 voies de la RN7 - RN 82*, Rapport réalisé pour le service Transports et Infrastructures de la DDE 42, Saint-Etienne.

GIEC 2013, "Résumé à l'intention des décideurs, Changements climatiques 2013: Les éléments scientifiques." in *Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, eds. T.F. Stocker, D. Qin, G.-. Plattner, et al, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York (État de New York), États-Unis d'Amérique.

GIEC (ed) 2007, *Changements climatiques 2007 : Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.*, Solomon, S. ; Qin, D. ; Manning, M. ; Chen, Z. ; Marquis, M. ; Averyt, K.B. ; Tignor, M. ; Miller, H.L. edn, Cambridge University Press, Cambridge, UK et New York, NY, USA.

Girard, L. 2012, *L'Europe amorce un timide tournant sur les biocarburants*, 18/10/2012 edn, Le Monde, Paris.

Girard, M. 1994, *L'écologisme retrouvé. Essor et déclain de la commission de conservation au Canada,* Les presses de l'Université d'Ottawa edn, , Ottawa.

Global Chance 2013, *La situation énergétique en france : état des lieux,* les cahiers de Global Chance, vol. 33 edn, Association global Chance, Paris.

Godet, M. 2001, *Manuel de prospective stratégique,* Dunod edn, , Paris.

Goedkoop, M. & Spriensma, R. 2001, *The Eco-indicator 99 - A damage oriented method for Life Cycle impact assesment - Methodology report*, PRé, Amersfoot, Hollande.

Gondran, N. 2013, "L'empreinte écologique : vers un nouveau paradigme pour l'évaluation de la durabilité ?" in *Le développement durable à découvert*, eds. A. Euzen, L. Eymard & F. Gaill, CNRS Editions edn, pp. 174-175.

Gondran, N. 2006a, "Penser global, agir local ? Des principes et dilemmes des démarches territoriales de développement durable" in *Aide à la décision pour l'aménagement du territoire: méthodes et outils*, eds. D. Graillot & J.P. Waaub, Traité IGAT, série Aménagement et gestion du territoire edn, Hermes – Lavoisier, Paris, pp. 59-88.

Gondran, N. 2006b, *Rapport de restitution de l'expérimentation du SD 21000 en Rhône-Alpes – Description des entreprises engagées*, Rapport pour le groupe AFNOR, Saint-Etienne.

Gondran, N. 2004, *Mise en place d'un système de management environnemental à la DDE de la Loire pour la mise à 2X2 voies de la RN7 - RN 82*, Rapport réalisé pour le service Transports et Infrastructures de la DDE 42, Saint-Etienne.

Gondran, N. 2001, *Système de diffusion d'information pour encourager les PME-PMI à améliorer leurs performances environnementales*. Thèse de doctorat en sciences et techniques du déchet, présentée devant l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne et l'INSA de Lyon.

Gondran, N. & Berard, C. 2006, "Expérimentation du référentiel SD 21000. Une opération collective en Rhône Alpes", *Vertitude,* vol. 22, no. mai-juin 2006, pp. 20-23.

Gondran, N. & Boutaud, A. mars 2010, "L'interview de l'écologithèque.com", *L'écologithèque.com,* [Online], , pp. 15 octobre 2013. Available from: http://www.ecologitheque.com/itwboutaudgondran.html.

Gondran, N. & Boutaud, A. 2013, *L'empreinte écologique des régions françaises en 2008*, Pour le compte du Conseil régional Nord-Pas de Calais & de La Commission développement durable de l'Association des Régions de France, Saint-Etienne.

Gondran, N. & Boutaud, A. 2008, "L'empreinte écologique des transports.", *Liaison Energie Francophone / Les cahiers de Global Chance.,* vol. 81, pp. 27-30.

Gondran, N. & Breuil, F. 2005, "Zincheria – Mise en situation professionnelle pour des élèves ingénieurs ou des étudiants de master 2" in *Jeu, géographie et citoyenneté. De l'école à l'université.*, ed. M. Masson-Vincent, Séli Arslan edn,Paris, pp. 180-191.

Gondran, N. & Fontaine, N. 2006, "Un système de management environnemental pour la maîtrise d'œuvre publique d'opérations routières : Quels périmètres dans le temps et dans l'espace ?", *Développement durable et territoires [En ligne],* [Online], vol. 5, no. Économie plurielle, responsabilité sociétale et développement durable, pp. 5 juin 2012. Available from: http://developpementdurable.revues.org/document1952.html.

Gondran, N., Formisyn, P., Ensuque, I., Boespflug, X. & Brodhag, C. 2000, "Proposition d'une méthode de pré-diagnostic environnemental basée sur l'accès à l'information - Application à des entreprises tunisiennes", *Déchets - Sciences et Techniques,* vol. 18, pp. 39-45.

Gondran, N. & Kammen, D. 2004, "De la pluridisciplinarité pour des ingénieurs généralistes vers une interdisciplinarité à la mesure d'ingénieurs éco-citoyens", *Didaskalia,* vol. 24, pp. 65-80.

Gondran, N. 2012, "The ecological footprint as a follow-up tool for an administration: Application for the Vanoise National Park", *Ecological Indicators,* vol. 16, no. 0, pp. 157-166.

Gorz, A. 2006 (reed. 2009), *Lettre à D. : Histoire d'un amour,* Collection Folio edn, Galimard, Paris.

Graillot, D. 1986, *Faisabilité d'un système d'ingénierie pour la réalisation de projets d'aménagement en eau à partir du modèle de simulation : MISE (Modèle Intégré de Stratégie de l'Eau).*, Thèse d'Etat : Université des sciences et techniques du Languedoc.

Graillot, D. & Davoine, P. 1986, "Un modèle pédagogique assisté par ordinateur MISE - Modèle intégré de Stratégie de l'eau.", *European Journal of Engineering Education,* vol. 11, pp. 177-185.

Granjou, C. 2003, "Note de recherche sur l'expertise scientifique à destination politique", *Cahiers internationaux de sociologie,* vol. CXIV, pp. 175-183.

Gras, A. 2007, *Le Choix du feu. Aux origines de la crise climatique,* Fayard edn, , Paris.

Griot, C. & Ayral, P.A. 2001, "terminologie en science du risque", *Dire le Risque: le risque en examen*, ed. Groupe des Ecoles des Mines, , 18-20 mai 2001.

Grooten, M. (ed) 2012, *Living Planet Report 2012. Biodiversity, Biocapacity and better choices*, WWF International edn, Gland, Switzerland.

Guedegbe, I.B. 2012, "Evaluation environnementale stratégique et citoyenneté. Quel outil et quelle démarche adopter ?", *Liaison Energie Francophonie,* vol. 91, no. Evaluation environnementale stratégique et citoyenneté - à la recherche de modèles adaptés de développement durable, pp. 17-20.

Guilloux, G. 2009, *Ecodesign, du contexte au produit – Contribution méthodologique à l'intégration de l'environnement dans les métiers du design industriel*, Thèse de doctorat avec le label Européen en Sciences de la Terre et de l'Environnement, présentée devant l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne.

Haberl, H., Erb, K.H., Krausmann, F., Gaube, V., Bondeau, A., Plutzar, C., Gingrich, S., Lucht, W. & Fischer-Kowalski, M. 2007, "Quantifying and mapping the human appropriation of net primary production in earth's terrestrial ecosystems", *Proceedings of the National Academy of Sciences,* vol. 104, no. 31, pp. 12942-12947.

Hardelin, J., Katossky, A. & Marical, F. 2010, "Pourquoi et comment monétariser l'Environnement ?" in *Donner une valeur à l'environnement : la monétarisation, un exercice délicat mais nécessaire*, ed. M. Pappalardo, Collection « La Revue » edn, Commissariat général au développement durable – Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable, Paris, pp. 13-26.

Harte, J. 1988, *Consider a Spherical Cow - A course in environmental problem solving,* University Science books edn, , Sausalito, CA, USA.

Hertvitch, E.G. & Peters, G.P. 2010, *Multiregional Input-Output Database*.

Hertwich, E.G. & Peters, G.P. 2009, "Carbon Footprint of Nations: A Global, Trade-Linked Analysis", *Environmental Science & Technology,* vol. 43, pp. 6414-6420.

Hessel, S. 2011, *Engagez-vous. Entretiens avec G. Vanderpooten.* Conversation pour l'avenir edn, Editions de l'Aube, La Tour d'Aigues.

Huijberts, M.A.J. 1998, "Application of uncertainty and variability in LCA", *International Journal of LCA,* vol. 3, no. 5, pp. 273-280.

Humbert, S., De Schryver, A., Bengoa, X., Margni, M. & Jolliet, O. 2012, *IMPACT 2002+: User Guide Draft for version Q 2.21 (version adapted by Quantis)*, Quantis, Lausanne, Suisse.

Hung, M.L. & Ma H. W. 2009, "Quantifying system uncertainty of life cycle assessment based on Monte Carlo simulation.", *International Journal of Life Cycle Assessment,* vol. 14, no. 1, pp. 19-27.

IEA 2013, *World Energy outlook 2013. Executive summary,* IEA, Paris.

Illich, I. 1973, *Energie et équité,* Techno-critique edn, Editions du Seuil.

INSEE 2013, *Produit intérieur brut aux prix du marché / PIB* [Homepage of INSEE], [Online]. Available: http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=definitions/produit-inter-brut-prix-march.htm [2013, 9 septembre].

International Institute for Sustainable Development (IISD) 2013, *Les principes de Bellagio au complet* [Homepage of IISD], [Online]. Available: https://www.iisd.org/measure/principles/progress/bellagio_full_fr.asp [2014, 11/18].

Interstices 2014, *L'arithmétique d'intervalles* [Homepage of INRIA], [Online]. Available: https://interstices.info/encart.jsp?id=c_16269&encart=0&size=740,620 [2014, 07/28].

IRSN 2014 , *La radioactivité et ses effets* [Homepage of institut de Radioprotection et de Sureté Nucléaire], [Online]. Available: http://www.irsn.fr/FR/connaissances/Sante/effet-sur-homme/effets-rayonnements-ionisants/Pages/2-differents-rayonnements-ionisants.aspx?dId=b58d9f9a-7224-425b-a349-1eccb3166958&dwId=a8593a58-4f24-4ffe-859f-89528a4e1579#.VAnRp1P0i70 [2014, 5 septembre].

ISO 2010, *ISO 26000 : Lignes directrices relatives à la responsabilité sociétale,* International Standard for Organization edn, , Geneva, Switzerland.

ISO 1997, *ISO 14040. Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Principes et cadre*, ISO, Genève.

Jackson, T. 2010, *Prospérité sans croissance,* De Boeck edn, Etopia, 2010.

Jany-Catrice, F. 2012, *La performance totale : nouvel esprit du capitalisme ?* capitalismes - éthique - institutions edn, Presses Universitaires du Septentrion, Villeneuve d'Ascq.

Jany-Catrice, F. & Meda, D. 2011, "Quels indicateurs de richesse ? Le rapport Stiglitz et les ecueils de l'expertise.", *Les Chantiers pour le développement de l'information économique et sociale,* [Online], vol. 14, , pp. 9. Available from: http://www.idies.org/public/Publications/idies_note_de_travail_14_BAT.pdf. [11 juin 2013].

Johnson, D.B. 2007, *Le voyage d'Henry,* Casterman.

Jullien, A. & François, D. 2006, "Soil indicators used in road environmental impact assessments", *Resources, Conservation and Recycling,* vol. 48, no. 2, pp. 101-124.

Kammen, D. & Dove, M.R. 1997, "The Virtues of Mundane Science", *Environment,* vol. 39, no. 6, pp. 10-15.

Kammen, D. 2013, When Efficiency Is Not Enough, Janvier 2013, The Great Energy Challenge, Blog de National Geographic [Online], consulté le 28/01/2013. Available from http://www.greatenergychallengeblog.com/2013/01/24/when-efficiency-is-not-enough/

Kollmuss, A., Zink, H. & Polycarp, C. 2008, *Making Sense of the Voluntary Carbon Market. A Comparison of Carbon Offset Standards*, WWF Germany, Allemagne.

Koomey, J. 2001, *Turning numbers into knowledge.* Analytic Press., Oakland.

Kothari, A. & Wathen, C.N. 2013, "A critical second look at integrated knowledge translation", *Health Policy,* vol. 109, no. 2, pp. 187-191.

Kristensen, P. 2004, "The DPSIR Framework", *Workshop on a comprehensive / detailed assessment of the vulnerability of water resources to environmental change in Africa using river basin approach.* , ed. United Nations Environment Programme (UNEP), UNEP Headquarters, Nairobi, Kenya, 27-29 Septembre 2004,.

Laganier, R., Villalba, B. & Zuindeau, B. 2002, "Le développement durable face au territoire : éléments pour une recherche pluridisciplinaire", *Développement durable et territoires [En ligne],* [Online], vol. 1, consulté le 07 juin 2013. Available from: http://developpementdurable.revues.org/774.

Lalle, B. 2004, "Production de la connaissance et de l'action en sciences de gestion. Le statut expérimenté de « chercheur-acteur", *Revue Française de Gestion,* vol. 148, pp. 45-65.

Lalucq, A. 2013, "Comment l'économie est venue à l'écologie", *Alternatives économiques poche,* vol. L'économie verte en trente questions, no. 61.

Le Clézio, P. 2009, *Les indicateurs du développement durable et l'empreinte écologique*, Conseil Economique Social et Environnemental, Paris.

Le Féon, S. 2014, *Evaluation environnementale des besoins de mobilité des grandes aires urbaines en France : approche par analyse de cycle de vie.* , Thèse de doctorat en Sciences et génie de l'environnement, présentée devant l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne.

Le Féon, S., Gondran, N., Laforest, V. & Le Boulch, D. 2012, " 1Global warming impact assessment of urban mobility using motivation trip perspective – a case study of Saint-Etienne, France.", *International Journal of Environmental Science and Engineering Research (IJESER),* vol. 3, no. 3, pp. 86-101.

Le Moigne, J.L. 1973, *Les systèmes d'information dans les organisations.* Presses universitaires de France edn, , Paris.

Le Pochat, S., Mary, T., Danic, F., Roquesalane, A. & causse, S. 2013, *La valorisation économique de l'environnement : problématiques et méthodes*, Fondation 2019, Evea.

Lefeuvre, J.C. 1991, "Des certitudes de l'expert aux doutes du scientifique" in *Environnement, science et politique, les experts sont formels*, ed. J. Theys, GERMES edn,Paris, pp. 15-16.

Lenzen, M., Murray, J., Sack, F. & Wiedmann, T. 2007, "Shared producer and consumer responsibility — Theory and practice", *Ecological Economics,* vol. 61, no. 1, pp. 27-42.

Leprince, C. 2007, "Quand les emails augmentent le stress au travail", *Rue89,* [Online], , pp. 11 juillet 2014. Available from: http://rue89.nouvelobs.com/2007/08/14/quand-les-e-mails-augmentent-le-stress-au-travail.

Leveillard, F. 2004, *Mise en place d'un système de management environnemental au sein de la DDE 42 et étude des spécificités d'un SME pour un service public*, DEA sciences et techniques du déchet, INSA de Lyon.

Lourdel, N. 2005, *Méthodes pédagogiques et représentation de la compréhension du développement durable : application à la formation des élèves ingénieurs.* Thèse de doctorat en sciences et génie de l'environnement présentée devant l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne.

Lourdel, N., Gondran, N., Laforest, V. & Brodhag, C. 2005, "Introduction of Sustainable Development in engineer's curricula : problematic and evaluation methods", *International Journal of Sustainability in Higher Education,* vol. 6, no. 3, pp. 254-264.

Lourdel, N., Gondran, N., Laforest, V., Debray, B. & Brodhag, C. 2007, "Sustainable development cognitive map : a new method of evaluating student understanding.", *International Journal of Sustainability in Higher Education,* vol. 8, no. 2, pp. 170-182.

Lourdel, N., Harpet, C., Laforest, V., Gondran, N. & Brodhag, C. 2006, "Sustainable development training by simulation of an industrial crisis.", *Journal of Design Research,* vol. 5, no. 2, pp. 188-200.

Marsauche, M. 2009, *Informations pour la décision. Préfiguration d'un tableau de bord environnemental pour les SCOT. Application au Sud Loire*, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne.

Martin, S. 2005, *La résilience dans les modèles de systèmes écologiques et sociaux*, Ecole Normale Supérieure de Cachan.

Maystre, L.Y., PICTET, J. & SIMOS, J. 1994, *Méthodes multicritères ELECTRE - Description, conseils pratiques et cas d'application à la gestion environnementale,* Collection Gérer l'environnement edn, Presses Polytechniques et universitaires Romandes, Lausanne.

Meadows, D., Meadows, D., Randers, J. & Behrens, W. 1972, *The limits to growth. A report to the Club of Rome's project on the predicament of mankind.* Universe book edn, , New York.

Meda, D. 2013, *La mystique de la croissance. Comment s'en libérer ?* Flammarion edn, , Paris.

Meda, D. 1999, *Qu'est ce que la richesse ?* Champs edn, Flammarion, Paris.

MEEDDAT 2009, *Guide technique -2valuation de l'état des eaux douces de surface de métropole*, MEEDDAT, paris.

Mérini, C. & Ponté, P. 2008, "La recherche-intervention comme mode d'interrogation des pratiques", *Savoirs,* vol. 1, no. 16, pp. 77-95.

Méry, J. 2010, "L'éthique environnementale dans les outils d'évaluation économique et environnementale : application à l'équité intergénérationnelle et à la gestion des déchets", *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne],* [Online], vol. 10, no. 1, pp. 07 mai 2013. Available from: http://vertigo.revues.org/9620 ; DOI : 10.4000/vertigo.9620.

Milanesi, J. 2010, "Éthique et évaluation monétaire de l'environnement : la nature est-elle soluble dans l'utilité ?", *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne],* [Online], vol. 10, no. 2, pp. 24 mai 2013. Available from: http://vertigo.revues.org/10050 ; DOI : 10.4000/vertigo.10050.

Millennium Ecosystem Assessment (ed) 2005, *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis.*, Island Press, Washington, DC.

Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable 2000, *CODE de l'ENVIRONNEMENT. Partie réglementaire, Section 1 « Etudes d'impact des projets de travaux, d'ouvrages ou d'aménagements » du Chapitre II « Evaluation environnementale » du Titre II « Information et participation des citoyens » du Livre I « Dispositions communes »*.

Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie 2014a, *La stratégie nationale de transition écologique vers un développement durable (SNTEDD) 2014-2020 - Avant projet*, Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie, Paris.

Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie 2014b, 17 avril-last update, *Emissions de gaz à effet de serre (Monde, Europe, France)* . Available: www.developpement-durable.gouv.fr/Emissions-de-la-France,33791.html [2014, 07/28].

Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie 2014c, *Projet de loi de programmation pour un nouveau modèle énergétique français*, Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie edn, Paris.

Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie 2011a, *Article R122-5 du Code de l'Environnement - Partie réglementaire*, décret edn, Paris.

Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie 2011b, *Décret n° 2011-829 du 11 juillet 2011 relatif au bilan des émissions de gaz à effet de serre et au plan climat-énergie territorial*, Décret edn, Paris, France.

Ministre de l'économie, des finances et de l'industrie 2012, *Décret n° 2012-279 du 28 février 2012 relatif à l'Institut Mines-Télécom*, Décret edn, JORF n°0051 du 29 février 2012 page 3851, paris.

Mintzberg, H. 2013, "Enterprise and Society. The Search for Balance", *Conférence inaugurale de l'Institut H. Fayol,* Saint-Etienne, 17 mai 2013.

Moran, D., Wackernagel, M., Kitzes, J., Heumann, B., Phan, D. & Golfinger, S. 2009, "Trading spaces : calculating embodied ecological footprint in international trade using a Product Land Use Matrix (PLUM)", *Ecological Economics,* vol. 68, pp. 1938-1951.

Moreau, S. 2014, "Les indicateurs de la SNTEDD (stratégie nationale de la transition écologique vers un développement durable)", *CNIS : Conseil National de l'Information Statistique*, ed. Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie, Paris, 26 mai 2014.

Moreau, V. 2012, *Méthodologie de représentation des impacts environnementaux locaux et planétaires, directs et indirects – Application aux technologies de l'information*, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne.

Moreau, V., Gondran, N. & Laforest, V. 2011, "Towards the Integration of Local and Global Environmental Assessment Methods: Application to Computer System Power Management Dans Glocalized Solutions for Sustainability in Manufacturing 2011 - 18th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, Allemagne", *Glocalized Solutions for Sustainability in Manufacturing 2011 - 18th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering*, eds. J. Hesselbach & C. Herrmann, Springer, Allemagne, 2-4 Mai 2011.

Morello-Frosch, R., Brody, J., Brown, P., Altman, R., Rudel, R. & Pérez, C. 2009, "Toxic ignorance and right-to-know in biomonitoring results communication: a survey of scientists and study participants. 2009 Feb 28, 8:6.", *Environmental Health,* vol. 8, no. 6.

Morin, E. 1990, "Sur l'interdisciplinarité. In Carrefour des sciences, Actes du Colloque du Comité National de la Recherche Scientifique Interdisciplinarité", *Carrefour des sciences, Actes du Colloque du Comité National de la Recherche Scientifique Interdisciplinarité*, ed. F. Kourilsky, Éditions du CNRS, Paris.

Mosseri, R. & Jeandel, C. 2013, "Climat et énergie : deux enjeux au coeur du développement durable" in *Le développement durable à découvert*, eds. A. Euzen, L. Eymard & F. Gaill, CNRS éditions, Paris, pp. 36-37.

Nevo, D. & Chan, Y.E. 2007, "A Delphi study of knowledge management systems: Scope and requirements", *Information & Management,* vol. 44, no. 6, pp. 583-597.

Nicolas, J.¨. 2010, "SIMBAD : un outil pour intégrer le développement durable dans les politiques publiques" in *Modéliser la ville. Forme urbaine et politiques de transport.*, ed. J.P. Antoni, coll. Méthodes et Approches, edn Economica, Paris.

Nicolas, J. 2013, *Mobilité quotidienne et développement urbain durable*, Habilitation à Diriger les Recherches - Université Lumière Lyon 2.

Nicolas, J., Verry, D. & Longuar, Z., 2012, "Evolutions récentes des émissions de CO2 liées à la mobilité des Français : analyser les dynamiques à l'œuvre grâce aux enquêtes nationales Transports de 1994 et 2008", *Economie et Statistique,* , no. n°457-458, pp. 161-183.

Nonaka, I. & Takeuchi, H. 1997, *La connaissance créatrice, la dynamique de l'entreprise apprenante,* De Boeck université edn, , Paris.

Nonaka, I., Toyama, R. & Konno, N. 2000, "SECI, Ba and Leadership: a Unified Model of Dynamic Knowledge Creation", *Long range planning,* vol. 33, no. 1, pp. 5-34.

Norgaard, R. 2002, " Optimist, Pessimists, and Science", *Bioscience,* vol. 52, no. 3, pp. 287-292.

Noseda, V. & Racine, J.B. 2001, "Acteurs et agents, points de vue géographiques au sein des sciences sociales", *Revue européenne des sciences sociales [Online],* [Online], vol. XXXIX, no. 121, pp. 01 Mai 2014. Available from: URL : http://ress.revues.org/647.

OCDE 1993, *Jeu de base d'indicateurs de l'OCDE pour l'étude de performance environnementale*, OECD Environment Monographs, Paris.

OCDE 1992, *Bonnes pratiques pour les études de l'impact sur l'environnement exercé par les projets de développement*, paris.

O'Connor, M. 1999, "Dialogue and debate in a post-normal practice of science: a reflexion", *Futures,* vol. 31, pp. 671-687.

Office Québecois de la Langue Française 2006, , *Le Grand dictionnaire terminologique*. Available: http://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=505319 [2014, 2014, 04/22].

OLLAGNON, H., de MONTBEL, A. & VIEL, J.M. 1998, "L'audit patrimonial, un outil de compréhension et de mobilisation des "complexes multi-acteurs" agissant sur un territoire » [en ligne]", *Colloque national « Modèles et Systèmes Multi-Agents pour la Gestion de l'Environnement et des Territoires »*CEMAGREF, Clermont Ferrand, 6-8 Octobre 1998,.

Parlement Européen et Conseil Européen 2008, *DIRECTIVE 2008/98/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 19 novembre 2008 relative aux déchets et abrogeant certaines directives.* , Directive edn, JOUE du 22 novembre 2008, bruxelles.

Parlement Français 1976, *Loi n°76-629 du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature*, Loi edn, Paris.

Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. & Hanson, C.E. (eds) 2007, *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Pasquier, J.L. 2010, *CO2 et activités économiques de la France - Tendances 1990-2007 et facteurs d'évolution*, CGDD (Conseil Général au Développement Durable), Orléans.

Personne, M. & Brodhag, C. 1999, "Evaluation des performances environnementales des PME", *Techniques de l'ingénieur,* vol. G 5 100, no. Traité Génie Industriel.

Pigot, A. & Leroy, P. 2001, " La transdisciplinarité : un mythe ou une réalité ? Compte rendu de symposium", *Nature Sciences Société,* vol. 9, no. 1, pp. 66-70.

Pinaud, O. 2014, "EDF sort indemne du projet de loi sur la transition énergétique", *L'Agefi quotidien,* [Online], vol. 18 juin 2014, , pp. 27/07/2014. Available from: http://www.agefi.fr/articles/edf-sort-indemne-de-la-loi-sur-la-transition-energetique-1323718.html.

Pollard, D. (ed) 2010, *Rapport Planète Vivante 2010, Biodiversité – Biocapacité et développement*, WWF – World Wide Fund for Nature edn, Gland, Suisse.

Ponrouch, A. 2008, *Processus de mise en œuvre du développement durable par les collectivités – Suivi-évaluation et adaptation du SD21000*, l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne.

Prats, A. 2008, "G5002. Analyse environnementale" in *Techniques de l'ingénieur*, Editions T.I.

Quivy, R. & Van, C.L. 2011, *Manuel de recherche en sciences sociales,* 4e édition entièrement revue et augmentée, Dunod, Paris.

Rateau, P., Ernst-Vintila, A. & Delouvée, S. 2012, "Michel-Louis Rouquette et le modèle de l'architecture de la pensée sociale", *Psicologia e Saber Social,* vol. 1, no. 1, pp. 53-65.

Raymond, G. 2009, *Réduction des impacts environnementaux des ateliers de traitement de surface - Application de stratégies de réduction plus propre et plus sûre*, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne.

Rethoré, O. 2010, "L'Analyse de Cycle de Vie (ACV), outil préférentiel de quantification des impacts environnementaux" in *L'Encyclopédie du développement durable*, Les Récollets edn.

Roche, V. 2000, *Impacts de l'incertitude et de l'ambiguïté sur la pratique des SIRS : Exploration à l'aide d'études de cas en assainissement industriel*, Thèse de doctorat en sciences et techniques des déchets, présentée devant l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne et l'INSA de Lyon.

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F.S., Lambin, E.F., Lenton, T.M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H.J., Nykvist, B., Wit, C.A.d., Hughes, T., Leeuw, S.v.d., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P.K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R.W., Fabry, V.J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P. & Foley, J.A. 2009, "A safe operating space for humanity", *Science*, vol. 461, no. 7263, pp. 472-475.

Rosa, H. 2012, *Aliénation et accélération. Vers une théorie critique de la modernité tardive.* Collection Théorie critique edn, La Découverte, Paris.

Rosa, H. 2010, *Accélération – Une critique sociale du temps,* Editions La Découverte edn, , Paris.

Rothman, D.S. 1998, "Environmental Kuznets curves—real progress or passing the buck?: A case for consumption-based approaches", *Ecological Economics,* vol. 25, no. 2, pp. 177-194.

Rousseaux, P. 2005, "Analyse du cycle de vie (ACV)", *Techniques de l'ingénieur,* vol. TI 540, no. G5500, pp. 1-4.

Rousseaux, P. 1993, *Evaluation comparative de l'impact environnemental global (ECIEG) du cycle de vie des produits.*, Thèse de doctorat : I.N.S.A., LCPAE,.

Rousseaux, P., Villien, J. & Navarro, A. 1996, "Observatoire des changements écologiques du Grand Lyon (OCEGLY).", *Premier colloque francophone des spécialistes en évaluation d'impacts.*, ed. Association Québécoise pour l'évaluation d'impacts, Les ingénieurs écologues, Estoril, Portugal, 18-19 juin 1996, pp. 29-45.

Roy, B. 1985, *Méthodologie multicritère d'aide à la décision* Economica, Paris.

Running, S. 2012, "A Measurable Planetary Boundary for the Biosphere", *Science,* vol. 337, no. 6101, pp. 1458-1459.

Saaty, T.L. 1984, *Décider face à la complexité - Une approche analytique multicritère d'aide à la décision,* Collection université Entreprise edn, Entreprise moderne d'édition, Paris.

Sadones, P. 2006, *Les agrocarburants*, EDEN, Yvetot.

Salomon, T., Jedliczka, M. & Marignac, Y. 2012, *Manifeste Negawatt,* Domaine du possible edn, Actes Sud, France.

Saoud, H. 2005, "La contribution de l'analyse sociologique de Michel Crozier au management public", *Séminaire RECEMAP*IAE Lyon, Lyon, 2-3 juin 2005.

Sauvé, L. 2011, "La prescription du développement durable en éducation : la troublante histoire d'une invasion barbare" in *Education, environnement et développement durable : vers une écocitoyenneté critique*, eds. B. Bader & L. Sauvé, Les Presses de l'Université Laval edn,Canada, pp. 18-44.

Sauvé, L. 2001, *Éducation et environnement à l'école secondaire,* Théories et Pratiques dans l'enseignement edn, éditions logiques, Québec.

Say, J.B. 1832, *Cours complet d'économie politique pratique. tome premier,* J.P. Meline edn, , Bruxelles.

Schneider, Y. 2005, *Contribution à l'élaboration d'une méthode de diagnostic préalable à la mise en place du programme d'actions d'un agenda 21 local spécifique à une zone d'activités*, master recherche SEIU. INSA de Lyon - Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne.

Schumacher, E.F. 1973, *Small is beautiful – Economics as if people mattered – 25 years later with commentaries,* Reedition 1999, Hartley & Marks publisher, Vancouver.

Sebastien, L. 2006, *Humains et non-humains en pourparlers : l'acteur en 4 Dimensions. Proposition théorique et méthodologique transdisciplinaire favorisant l'émancipation de nouvelles formes de gouvernances environnementales. Application au domaine de l'eau sur trois territoires : la plaine du Forez, les pentes du Kilimandjaro et les Barthes de l'Adour.*, Ecole Nationale Supérieure de Saint-Etienne et Université Jean Monnet de Saint-Etienne.

Sébastien, L. & Paran, F. 2004, "Acteurs absents et acteurs faibles" in *Dictionnaire du développement durable*, eds. C. Brodhag, F. Breuil, N. Gondran & F. Ossama, AFNOR edn,Paris.

Sene, I. & Berdugo, A. 2000, *Ethique et knowledge-Management*, Cahiers de recherche, 707, 25

Serrano, J. 2006, *Contribution à la définition d'indicateurs pour l'OPATB du PARC NATUREL REGIONAL DU PILAT*, master recherche « Sciences de l'Environnement Industriel et Urbain », INSA de Lyon /Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne.

Service Transports et Infrastructures de la DDE 42 2004, *PR3.1-01. Identification des aspects environnementaux et détermination des impacts significatifs*, Ministère des Transports, de l'Équipement, du Tourisme et de la Mer, Saint-Etienne.

Shaxson, L., Bielak, A. & et al. 2012., *Expanding our understanding of K*(KT, KE, KTT, KMb, KB, KM, etc.) A concept paper emerging from the K* conference held in Hamilton*, Ontario, Canada,.

Sheate, W.R. & Partidário, M.R. 2010, "Strategic approaches and assessment techniques—Potential for knowledge brokerage towards sustainability", *Environmental Impact Assessment Review,* vol. 30, no. 4, pp. 278-288.

Simon, H. 1955, "A behavorial model of rational choice", *Quaterly Journal of Economics,* vol. 69, pp. 99-118.

Smet, P. 1999, *Imperfect information: Imprecision - Uncertainty*, Université Libre de Bruxelles, Bruxelles.

Solow, R.M. 1974, "Intergenerational Equity and Exhaustible Resources. , Vol. 41, .", *The Review of Economic Studies,* vol. 41, no. Symposium on the Economics of Exhaustible, pp. 29-46.

Soulignac, V. 2012, *Système informatique de capitalisation de connaissances et d'innovation pour la conception et le pilotage de systèmes de culture durables*, Université Blaise Pascal – Clermont-Ferrand II.

Stern, N. 2006, *Stern review: the economics of climate change - Executive Summary*, HM Treasury, London.

Stiglitz, J.,E., Sen, A. & Fitoussi, J.P. (eds) 2009, *Rapport de la Commission sur la mesure des performances économiques et du progrès social*, Commission pour la Mesure des Performances Economiques et du Progrès Social edn, Paris.

Tacnet, J.M., November, V., Richard, D. & Batton-Hubert, M. 2010, "Expertise, décision et incertitude. Jusqu'où une approche interdisciplinaire est-elle possible dans le cadre de la gestion intégrée des risques naturels en montagne?", *Colloque OPDE*Montpellier, 25 - 26 octobre 2010.

Tahiri, A. 2013, *Innovation par la responsabilité sociétale dans la gestion de projet d'ingénierie : cas de l'ingénierie pharmaceutique*, Thèse de doctorat en Sciences de la Terre et de l'Environnement, présentée devant l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne.

Tahvonen, O. 2000, *Economic Sustainability and Scarcity of Natural Resources: A Brief Historical Review*, Resources for the Future, Washington.

Thoreau, H.D. 1854 (reed. 1990), *Walden ou la vie dans les bois,* L'Imaginaire edn, Gallimard, Paris.

Touze-Foltz, N., Bockstaller, C., De Fouquet, C., Jullien, A., Jeannee, N., Morard, V. & Zahm, F. 2013, *Table ronde sur les besoins en indicateurs environnementaux*, Séminaire AO INDECO "Indicateurs environnementaux" edn, Institut CARNOT Interétablissements, Paris.

Tregouet B. (dir.) 2010, *An expert examination of the Ecological Footprint. Observation et statistiques*, Orléans.

Tukker, A., Huppes, G., Guinée, J., H eijungs, R., de Koning, A., van Oers, L., Suh, S., Geerken, T., Van Holderbeke, M., Jansen, B. & Nielsen, P. 2006, *Environmental Impact of Products (EIPRO). Analysis of the life cycle environmental impacts related to the final consumption of the EU-25*, European Commission, Joint research Center, European Communities.

UICN France 2011, *La compensation écologique : État des lieux et recommandations.*, Paris, France.

UMR 5600 EVS 2014, *Vague A : Campagne d'évaluation 2014-2015 - EVS – Environnement Ville Société UMR 5600, Dossier d'évaluation*, UMR 5600 EVS, Lyon.

UNEP 2006, *Manuel de formation sur l'évaluation et le rapport intégrés sur l'environnement en Afrique* , Division de l'Alerte Rapide et de l'Évalu ation (DEWA) d' l'UNEP.

United Nations 2012, *Resilient People, Resilient Planet: A Future Worth Choosing. Report of the United Nations Secretary- General's High-Level Panel on Global Sustainability,* , New York.

United Nations Environment Programme (UNEP) 2012a, *GEO 5 Global Environment Outlook - Environment for the future we want,* UNEP, Nairobi.

United Nations Environment Programme (UNEP) 2012b, *Measuring Progress: Environmental Goals & Gaps.* UNEP, Nairobi, Kenya.

United Nations Environment Programme (UNEP) 2002, *GEO-3: Global Environment Outlook*, UNEP, Nairobi, Kenya.

Valste, J., Airamo, S., Holopainen, M., Koivisto, I., Suominen, T. & Viitanen, P. 1993, *Biologia: Toimiva eliömaailma, Perinnöllisyys ja Evoluutio (in Finnish). Porvoo: WSOY,* WSOY edn, , Porvoo.

Van Gigch, J., P. 1987, *Decision making about decision making – Metamodels and metasystems,* Abacus press, Cambridge.

Varet, J. 2007a, "Les ressources minérales : ressources énergétiques et autres", *Encyclopédie du développement durable,* [Online], no. juin 2007, pp. 5 septembre 2014. Available from: http://encyclopedie-dd.org/encyclopedie/sciences-et-techniques/a-3-faits-et-chiffres/les-ressources-minerales.html.

Varet, J. 2007b, "Ressources minérales et développement durable", *L'encyclopédie du développement durable,* [Online], no. mai 2007, pp. 5 septembre 2014. Available from: http://encyclopedie-dd.org/encyclopedie/territoires/3-2-les-ressources-minerales/ressources-minerales-et.html.

Vially, R. 2011, *Les hydrocarbures non conventionnels : évolution ou révolution*, IFP Energies Nouvelles, Solaize.

Villot, J. 2012, *Bâtiment et facteur 4 : de l'émergence d'un objectif global à son application au niveau local.*, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne.

Villot, J., Gondran, N. & Laforest, V. 2011, "Labels de la construction : quelle contribution possible au facteur 4 ?", *Développement durable et territoires [En ligne],* [Online], vol. 2, no. 1, pp. 5 juin 2012. Available from: http://developpementdurable.revues.org/8834.

Viveret, P. 2003, *Les nouveaux facteurs de richesse,* Ed. de l'Aube edn, , La Tour d'Aigues.

Von Krogh, G., Nonaka, I. & Ichijo, K. 1997, "Develop knowledge activists!", *European Management Journal,* vol. 15, no. 5, pp. 475-483.

Von Weizacker, E.U., Lovins, A.B. & Lovins, L.H. 1997, *Facteur 4 : deux fois plus de bien-être en consommant deux fois moins de ressources: Rapport au Club de Rome, Terre Vivante,* Rapport au Club de Rome edn, Terre Vivante, Mens.

Vu Minh, C. & Milgrom, E. 2007, "Vers une approche opérationnelle pour l'évaluation des EIAH", *Sciences et Technologies de l'Information et de la communication pour l'Education et la Formation,* vol. 14, pp. 1-20.

Waaub, J.P. 2012, "Fondements théoriques et approches méthodologiques de l'évaluation environnementale stratégique (EES)", *Liaison Energie Francophonie,* vol. 91, no. Evaluation environnementale stratégique et citoyenneté - à la recherche de modèles adaptés de développement durable, pp. 9-16.

Wackernagel, M. 2009, " Methodological advancements in footprint analysis", *Ecological economics,* vol. 68, no. 7, pp. 1925-1927.

Wackernagel, M. & Rees, W. 1999, *Notre empreinte écologique,* Ecosociété edn, , Montréal.

Ward, V., Smith, S., House, A. & Hamer, S. 2012, "Exploring knowledge exchange: A useful framework for practice and policy", *Social science & medicine,* vol. 74, no. 3, pp. 297-304.

Weber, M. 1919 (1980 réédition), *Le savant et le politique,* éditions 10/18.

Wernert, F. 2004, *Elaboration d'une méthodologie de calcul d'empreinte écologique d'une filière de traitement de déchets - Application à l'incinération de déchets dangereux*, DEA sciences et techniques du déchet. INSA de Lyon.

Wiedmann, T., Schandlb, H., Lenzen, M., Moranc, D., Suhf, S., West, J. & Kanemoto, K. 2013, "The material footprint of nations", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America PNAS,* vol. september 3, no. Industrial Ecology: The Role of Manufactured Capital for Sustainability Special Feature - Physical Sciences - Sustainability Science:.

Wiedmann, T. 2009a, "A review of recent multi-region input–output models used for consumption-based emission and resource accounting", *Ecological Economics,* vol. 69, no. 2, pp. 211-222.

Wiedmann, T. 2009b, "A review of recent multi-region input–output models used for consumption-based emission and resource accounting", *Ecological Economics,* vol. 69, no. 2, pp. 211-222.

Wingert, J.L. 2005, *La vie après le pétrole - De la pénurie aux énergies nouvelles,* Autrement edn, Paris.

Zelem, M.C. 2012, "Les énergies renouvelables en transition : de leur acceptabilité sociale à leur faisabilité sociotechnique", *Revue de l'Energie,* , no. n°610.

ANNEXE 1. CV Détaillé

Directions de recherches

Co-encadrement de thèses en cours :

Co-encadrement, avec Christian Brodhag, d'une thèse débutée en septembre 2014, d'une ingénieur IPEF (Ingénieurs des Ponts, des Eaux et des Forêts) :

Anastasia Wolff. Responsabilité sociétale : quelles contributions des entreprises à la protection et la valorisation de la biodiversité. Septembre 2014 - Août 2017

Co-encadrement de thèses soutenues

10 thèses co-encadrées et soutenues dans les spécialités Sciences et génie de l'environnement et Génie industriel de l'Ecole doctorale Sciences Ingénierie Santé, dont une thèse obtenue avec le label Européen, 3 thèses cofinancées par l'ADEME, deux financées par l'ANRT (thèses CIFRE) et une financée intégralement par une entreprise.

Le directeur de thèse HDR est noté en gras ci-après.

BOUTAUD Aurélien, *Le développement durable : penser le changement ou changer le pansement,* Thèse de doctorat en Sciences et génie de l'environnement, présentée devant l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, le 14 février 2005

Mots clés : développement durable, évaluation, territoires, collectivités locales, ville durable, négociation, acteurs faibles, générations futures, intérêt général

Jury : Corinne Larrue (présidente du jury), Marc Bonneville (rapporteur), Guy Loinger (rapporteur), **Christian Brodhag (directeur de thèse)**, Natacha Gondran (co-encadrante) ; invités jury : Valérie Martin, Laurent Cogerino

Cette thèse, co-financée par l'ADEME, a été réalisée en partenariat avec le Grand Lyon et Rhônalpénergie-Environnement.

Co-encadrement : **Christian Brodhag** (directeur de thèse), Laurent Cogerino (Rhôn-Alpénergie-Environnement)

Participation personnelle à l'encadrement : 40 %

Emploi actuel : Création d'une entreprise de conseil, formation et recherche : environnement et développement soutenable

LOURDEL Nathalie, Méthodes pédagogiques et représentation de la compréhension du développement durable : application à la formation des élèves ingénieurs, Thèse de doctorat en Sciences et génie de l'environnement, présentée devant l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, le 19 mai 2005

Mots clés : développement durable, jeux de rôles, cartes cognitives, évaluation de la compréhension, élèves ingénieur, formation, représentation schématique, pédagogie

Jury : Michel Ricard (président du jury), Andrée Tiberghien (rapporteur), Dominique Bourg (rapporteur), Bruno Debray (examinateur), **Christian Brodhag (directeur de thèse),** Natacha Gondran (co-encadrante), Valérie Laforest (co-encadrante)

Co-encadrement : **Christian Brodhag** (directeur de thèse), Valérie Laforest, Bruno Debray

Participation personnelle à l'encadrement : 30 %

Emploi actuel : Création d'une entreprise de formation et conseil en développement durable

DELCHET Karen, La prise en compte du développement durable par les entreprises: entre stratégies et normalisation. Etude de la mise en oeuvre des recommandations du guide Afnor SD21000 au sein d'un échantillon de PME françaises, Thèse de doctorat en Sciences et génie de l'environnement, présentée devant l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, le 8 mars 2006

Mots clés : développement durable, responsabilité sociétale des entreprises, RSE, SD21000, normalisation, PME, ISO, stratégie

Jury : Laurence Tubiana (présidente du jury), Sylvie Faucheux (rapporteur), Michel Capron (rapporteur), Alain Jounot, **Christian Brodhag (directeur de thèse)**, Natacha Gondran (co-encadrante)

Cette thèse CIFRE a été réalisée en partenariat avec l'AFNOR.

Co-encadrement : **Christian Brodhag** (directeur de thèse)

Participation personnelle à l'encadrement : 40 %

Emploi actuel : Enseignante-chercheur à l'ISC PARIS

PONROUCH Adrien., Processus de mise en œuvre du développement durable par les collectivités – Suivi-évaluation et adaptation du SD21000, Thèse de doctorat en Sciences et génie de l'environnement, présentée devant l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, le 17 avril 2008

Mots clés : Collectivités locales, développement durable, Agendas 21 locaux, Evaluation, Management territorial stratégique, coordination stratégique territoriale

Jury : Guy Loinger (président du jury), Michel Nakhla (rapporteur), Jacques Comby (rapporteur), Michel Casteigts (examinateur), **Christian Brodhag** (directeur de thèse), Natacha Gondran (co-encadrante), invité jury : Nathalie Vicq Thepot (MEDAD)

Cette thèse, financée par l'ADEME, a été réalisée en partenariat avec le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable.

Co-encadrement : **Christian Brodhag** (directeur de thèse)

Participation personnelle à l'encadrement: 30 %

Emploi actuel : Chargé de Missions Développement Durable des Territoires au sein de CERTIVEA

EL BOUAZZAOUI Ibtissam, L'EMPREINTE ECOLOGIQUE : Proposition d'un modèle synthétique de représentation des empreintes à l'échelle « Micro » d'une organisation ou d'un projet, Thèse de doctorat en Sciences et génie de l'environnement, présentée devant l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, le 3 juillet 2008

Mots clés : Empreinte écologique, évaluation environnementale, approche par composantes, analyse de cycle de vie, bilan carbone®, projet routier

Jury : Yves Perrodin (président du jury), Denis Ablitzer (rapporteur), Agnès Jullien (rapporteur), Christian Brodhag, **Jacques Bourgois** (directeur de thèse), Natacha Gondran (co-encadrante), invités jury : Olivier Frerot

Co-encadrement : **Jacques Bourgois** (directeur de thèse)

Participation personnelle à l'encadrement : 70 %

Emploi actuel : Formatrice. Analyse de risques professionnels- Santé- Environnement (Education Nationale)

GUILLOUX Gaël, Ecodesign, du contexte au produit – Contribution méthodologique à l'intégration de l'environnement dans les métiers du design industriel, Thèse de doctorat **avec le label Européen** en Sciences et génie de l'environnement, présentée devant l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, le 6 octobre 2009

Mots clés : Design, eco-conception, écodesign, environnement, produit, usage, utilisateur, compétences, projet, développement, conception

Cette thèse, financée par l'ADEME, a été réalisée en partenariat avec le centre de design Rhône-Alpes et en cotutelle avec l'Université Polytechnique de Valencia, Espagne. Elle a bénéficié du label Européen de doctorat.

Jury : Daniel Brissaud (président du jury), Daniel Froelich (rapporteur), Alain Findeli (rapporteur), Jose Baldasano (rapporteur), Timothy Short (rapporteur), Dominique Millet, **Christian Brodhag** (directeur de thèse), **Salvador Capuz Rizo** (co-directeur de thèse en cotutelle), Natacha Gondran (co-encadrante), invités jury : Marie Marguerite Gabillard, Christine Cros.

Co-encadrement : **Christian Brodhag** (directeur de thèse), **Salvador Capuz Rizo** (co-directeur de thèse en cotutelle)

Participation personnelle à l'encadrement : 40 %

Emploi actuel : Création d'une entreprise de conseil en ecodesign, Enseignant-chercheur à l'Ecole de Design Nantes Atlantique

VILLOT Jonathan, Bâtiment et facteur 4 : de l'émergence d'un objectif global à son application au niveau local. Thèse de doctorat en Sciences et génie de l'environnement, présentée devant l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, le 26 mars 2012

Mots clés : Bâtiment, facteur 4, efficacité énergétique, sobriété, freins, leviers, acteurs professionnels, utilisateurs

Jury : Jean-Yves Toussaint (président du jury), Françoise Thellier (rapporteur), Etienne Wurtz (rapporteur), Yamina SAHEB, Julien HANS, **Valérie LAFOREST** (directrice de thèse), Natacha Gondran (co-encadrante), invités jury : Robert Kechechian (Cité Nouvelle)

Co-encadrement : **Valérie Laforest** (directrice de thèse)

Participation personnelle à l'encadrement : 70 %

Emploi actuel : Enseignant-chercheur au sein de l'équipe PIESO, Institut Fayol, EMSE

MOREAU Valentine, Méthodologie de représentation des impacts environnementaux locaux et planétaires, directs et indirects – Application aux technologies de l'information, Thèse de doctorat en Sciences et génie de l'environnement, présentée devant l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, soutenance prévue le 21 septembre 2012

Mots clés : Evaluation environnementale, Impacts environnementaux, Technologies de l'information, Tableau de Bord Environnemental

Jury : Agnès Jullien (rapporteur), Bernard Tourancheau (rapporteur), Daniel Brissaud, Stéphane Lepochat, **Valérie LAFOREST** (directrice de thèse), Natacha Gondran (co-encadrante), invités jury : Frédéric Ferrand (CASINO)

Co-encadrement : **Valérie Laforest** (directrice de thèse)

Participation personnelle à l'encadrement : 40 %

Emploi actuel : Post-doc au sein de l'équipe PIESO, Institut Fayol, EMSE

LE FEON S. Evaluation environnementale de la mobilité urbaine - analyse de cycle de vie des besoins de mobilité, inscription en doctorat spécialité « Sciences de la terre et de l'Environnement » de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, soutenue le 17 Janvier 2014

Mots clés : évaluation environnementale, Analyse de Cycle de Vie, mobilité urbaine, besoins de déplacement

Cette thèse a été entièrement financée par EDF.

Jury : Michel ANDRE (Président), Agnès Jullien (rapporteur), Jean-Pierre NICOLAS (rapporteur), Lynda AISSANI, **Valérie LAFOREST** (directrice de thèse) , Natacha GONDRAN (co-encadrante), invités jury : Denis LE BOULCH , Marie-Agnès GIRARD

Co-encadrement : **Valérie Laforest** (directrice de thèse)

Participation personnelle à l'encadrement : 40 %

Emploi actuel : Post-doc au sein de l'IRSTEA

DUMOULINNEUF Sandrine, *Evaluation des initiatives RSE d'une entreprise de la grande distribution*, Thèse de doctorat spécialité « Génie industriel » de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, soutenue le 27 janvier 2014

Mots clés : Évaluation a priori, Performance, RSE, Plan d'actions, Grande distribution

Cette thèse CIFRE est réalisée en partenariat avec CASINO. Le directeur de thèse HDR est **Patrick Burlat**.

Jury : Philippe MOATI (Président), Karine SAMUEL (rapporteur), Patrick ROUSSEAUX (rapporteur), Christian BRODHAG, **Patrick BURLAT** (directeur de thèse), Natacha GONDRAN (co-encadrante), Eric PACQUET (invité jury).

Co-encadrement : **Patrick Burlat** (directeur de thèse)

Participation personnelle à l'encadrement : 40 %

Emploi actuel : Consultante KPMG

Participations à des jurys de thèses non co-encadrées

TAHIRI A., *Innovation par la responsabilité sociétale dans la gestion de projet d'ingénierie : cas de l'ingénierie pharmaceutique*, Thèse de doctorat en Sciences de la Terre et de l'Environnement, présentée devant l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, le 19 février 2013

Mots clés : Innovation, management et gestion de projet, ingénierie pharmaceutique, responsabilité sociétale, développement durable, ISO 26000

JAEGLER A. *Evaluation des impacts simultanés de la localisation, de l'efficacité et du type de produits fabriqués sur les performances environnementales et financiers d'une chaîne logistique,* Thèse de doctorat en Génie industriel, présentée devant l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, le 29 septembre 2011

Mots clés : Simulation, émissions de CO_2, chaîne logistique

THELIER L. *Environmental impacts of the electricity produced by a Solid Oxide Fuel Cells or nuclear reactors*, PhD Thesis in fulfilment of the requirements for the title of European Doctor of the Université de Sciences et Technologies de Lille 1, soutenue le 17décembre 2008

Mots clés : Biocapacité, Environnement études d'impact, Empreinte écologique, Analyse de cycle de vie, Piles à combustible à oxyde solide, Hydrogène (combustible), Biogaz, Réacteurs nucléaires , Conversion énergétique

CIKANKOWITZ A., *Méthodologie d'évaluation des performances environnementales de techniques en vue de les comparer puis de les valider meilleures techniques disponibles*, Thèse de doctorat en Sciences de la Terre et de l'Environnement, présentée devant l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, le 10 décembre 2008

Mots clés : Directive IPPC, Meilleures Techniques Disponibles (MTD), Bilan de fonctionnement décennal, évaluation environnementale, sensibilité, traitement de surface

Direction de mémoires de master recherche

Sur les 17 étudiants de master recherche encadrés, 16 proviennent de deux master recherche au sein desquels je suis par ailleurs responsable d'unités pédagogiques d'enseignement.

Le Master Recherche **« SYSTEMES TERRITORIAUX AIDE A LA DECISION ENVIRONNEMENT» (STADE)** (nommé « SYSTEMES TERRITORIAUX DEVELOPPEMENT DURABLE AIDE A LA DECISION » (STDDAD) avant 2011) a pour objectif de confronter les concepts et méthodes permettant de répondre aux questionnements actuels d'organisation et de gestion territoriale, de développement durable et d'aide à la décision. Ces questionnements sont abordés autour de quatre entrées : les fonctionnements spatiaux, le développement durable, l'aide à la décision, les méthodes et outils. Il s'agit d'un master en réseau pluri-universitaire impliquant plusieurs laboratoires de recherche relevant de 5 établissements universitaires rhônalpins : l'Ecole Normale Supérieure de Lyon (Environnement, Ville et société et BioGéophile), l'Université Jean Monnet de Saint-Etienne (ISTHME), l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, l'Université de Savoie (EDYTEM) et l'Université Joseph Fourier (PACTE).

Dans la lignée du **DEA « Sciences et techniques du Déchet », le master « Sciences de l'Environnement Industriel et Urbain »** est gérée par l'Institut National des Sciences Appliquées (INSA) de Lyon, en partenariat avec quatre établissements co-habilités : l'Université Claude Bernard de Lyon1 (UCBL), l'Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat (ENTPE de Vaulx-en-Velin) et l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de St Etienne

(EMSE). L'objectif de ce master est de permettre aux étudiants de développer une approche scientifique transversale de la problématique environnementale et de les aider à appréhender l'origine des pollutions industrielles et urbaines, leur mode de transfert (macro et microscopique) dans l'environnement, l'évaluation environnementale, la prévention, les risques,… Il est bâti autour de quatre unités d'enseignement : l'analyse systémique, l'évaluation environnementale, l'émission et la dispersion des polluants, la réduction et le traitement des rejets plus une unité d'ouverture et une d'anglais. Depuis 2014, je suis la correspondante de ce master au niveau de l'EMSE.

Certains étudiants, dont les travaux sont présentés ci-après en italique, ont effectué leur stage de master recherche en entreprise. Mon rôle a consisté dans ce cas à les aider à définir et exploiter une problématique de recherche au sein d'une mission préalablement définie par leur entreprise d'accueil.

Les autres étudiants, dont les travaux sont présentés ci-après en caractères droits, sont plus en lien direct avec mes recherches. Il s'agit de sujets de recherche que j'avais définis moi-même et dont j'étais plus directement responsable.

Cyrille FRANCOIS, For an environmental evaluation of urban mobility based on a LCA approach. MSc Environmental Management for Business de l'Université de Cranfield, GB. Septembre 2014. Mémoire dirigé par N. Gondran, J.P. Nicolas, D. Parson. Stage financé par l'ITMU du pôle LUTB

Aurélie POULAIN, Quels freins et leviers à l'amélioration des politiques climatiques et énergétiques des communes ? L'exemple du Pacte Climat au Luxembourg, master recherche Systèmes Territoriaux Aide à la Décision Environnement, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, soutenu en Septembre 2013. Mémoire dirigé par N. Gondran, stage financé par PWC Luxembourg

Marie GAUTHIER, Management de la mobilité et intégration de la responsabilité sociétale au cœur des organisations, master recherche Systèmes Territoriaux Aide à la Décision Environnement, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, soutenu en Septembre 2012. Mémoire dirigé par N. Gondran, stage financé par PWC Luxembourg

Antoine LETELLIER, Bilan Carbone et biodégradation de la matière organique des retenues du Groupement d'Exploitation Hydraulique de la Vallée de la Maurienne, master recherche « Systèmes Territoriaux, Développement Durable et Aide à la Décision », Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, soutenu le 6 Septembre 2011. Mémoire dirigé par M. Bernard (EDF) et N. Gondran, stage financé par EDF

Jean-Baptiste SARFATI, La qualité de l'air intérieur, master recherche « Systèmes Territoriaux, Développement Durable et Aide à la Décision », Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, soutenu le 6 Septembre 2011. Mémoire dirigé par F. Motta (ARP) et N. Gondran, stage financé par ARP

Florian LEBLANC, Quantification de la biodiversité et méthodes d'analyse coûts-bénéfices, master recherche « Systèmes Territoriaux, Développement Durable et Aide à la Décision », Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, soutenu le 14 Septembre 2010. Mémoire dirigé par B. de Caevel (RDC environnement) et N. Gondran, stage financé par RDC environnement

Sandrine DUMOULINEUF, Développement d'une méthode d'évaluation des impacts environnementaux liés aux activités de la station d'épuration Furania (Saint-Etienne), master recherche « Sciences de l'Environnement Industriel et Urbain », Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, soutenu le 2 septembre 2010. Mémoire dirigé par Natacha GONDRAN (EMSE), Valérie LAFOREST (EMSE)

Ousri Chakib CHAOUCHE-TEYARA, Adaptation de l'Habitat du Scot Sud Loire au Changement Climatique à l'horizon 2050, mémoire de master 2 de recherche en géographie « Systèmes Territoriaux, Développement Durable et Aide à la Décision », Université Jean Monnet de Saint-Etienne, soutenu le 15 Septembre 2010. Mémoire dirigé par Natacha GONDRAN (EMSE), Fréderic PARAN (EMSE), Bernard ETLICHER (Université Jean Monnet)

Chloé PRUDHOMME, Réflexion sur la mise en place d'une démarche de type agenda 21 sur le territoire de la commune de Saint-Galmier, mémoire de master 2 de recherche en géographie « Systèmes Territoriaux, Développement Durable et Aide à la Décision », Université Jean Monnet de Saint-Etienne, soutenu en juin 2009. Mémoire dirigé par Bernard ETLICHER (Université Jean Monnet) et Natacha GONDRAN, stage financé par la Commune de Saint-Galmier

Jean-Baptiste DEBONNAIRE, L'intégration de la performance énergétique dans les opérations de réhabilitations de l'habitat privé, master recherche « Sciences de l'Environnement Industriel et Urbain, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, soutenu le 4 septembre 2008. Mémoire dirigé par Natacha GONDRAN, stage financé par le Société d'Equipement et de Développement de la Loire

Benjamin DAVID, Etude pour la création d'un outil de préconisation en matière de rénovation thermique à l'intention des propriétaires occupants, master recherche « Sciences de l'Environnement Industriel et Urbain », Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, soutenu le 4 septembre 2008. Mémoire dirigé par Natacha GONDRAN, stage financé par l'Agence Nationale de l'Amélioration de l'Habitat

Roy DABEE, Encouragement des économies d'énergie et énergies renouvelables dans l'habitat privé : quel rôle pour l'Etat ?, master recherche « Sciences de l'Environnement Industriel et Urbain », Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, soutenu en

septembre 2007. Mémoire dirigé par Natacha GONDRAN, stage financé par l'Agence Nationale de l'Amélioration de l'Habitat

Rémi CAZENAVE, Maîtrise de l'Energie dans l'habitat privé, master recherche « Sciences de l'Environnement Industriel et Urbain », Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, soutenu le 4 septembre 2006. Mémoire dirigé par Natacha GONDRAN, stage financé par l'Agence Nationale de l'Amélioration de l'Habitat

Julio SERRANO, Contribution à la définition d'indicateurs pour l'OPATB du PARC NATUREL REGIONAL DU PILAT, master recherche « Sciences de l'Environnement Industriel et Urbain », INSA de Lyon /Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, soutenu le 27 juin 2006. Mémoire dirigé par Natacha GONDRAN, stage financé par le Parc Naturel régional du Pilat

Yves SCHNEIDER, Contribution à l'élaboration d'une méthode de diagnostic préalable à la mise en place du programme d'actions d'un agenda 21 local spécifique à une zone d'activités », Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, soutenu le 12 juillet 2005. Mémoire dirigé par Natacha GONDRAN

Nicolas DUCHEMIN, Evaluation de l'intégration des enjeux du Développement Durable eut égard aux contraintes de la Mondialisation dans les PME/PMI - Etude de cas en Rhône-Alpes : Expérimentation du référentiel SD 21000, master recherche « ''Systèmes Territoriaux, Développement Durable et Aide à la Décision'', Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, soutenu le 21 juin 2005. Mémoire dirigé par Natacha GONDRAN

Anne CIKANKOWITZ, Etude des modalités de mise en œuvre d'un Système de Management environnemental en amont de la réalisation d'un projet routier : application en phase « études de projet » pour la DDE de la Loire, sur l'opération des Tuileries. Master recherche « ''Systèmes Territoriaux, Développement Durable et Aide à la Décision'', Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, soutenu le 21 juin 2005. Mémoire dirigé par Natacha GONDRAN

Diplômes d'études Approfondies

Florine LEVEILLARD. Mise en place d'un système de management environnemental au sein de la DDE 42 et étude des spécificités d'un SME pour un service public. **DEA science et technique du déchet**, effectué dans le cadre d'un projet de recherche financé par la DDE 42. 2004. Mémoire dirigé par Natacha GONDRAN

Fabian WERNERT. Elaboration d'une méthodologie de calcul d'empreinte écologique d'une filière de traitement de déchets - Application à l'incinération de déchets dangereux. **DEA science et technique du déchet**, stage de DEA financé par le groupe Séché environnement. 2004. Mémoire dirigé par Natacha GONDRAN

Le tableau suivant fait une synthèse des thématiques abordés par les différents mémoires que j'ai encadrés et dont j'ai initié et défini le projet de recherche.

	Organisations territoriales / collectivités locales	Entreprises	Objet plus spécifique
Corpus d'indicateurs / Outils de diagnostics RSE	(Schneider, 2005), (Serrano, 2006), (Prudhomme, 2009), (Chaouche Teyara, 2010)	(Duchemin, 2005),	
Empreinte écologique		(Wernert, 2004)	
Zoom sur le domaine de l'énergie			(Cazenave, 2006), (Dabee, 2007), (David, 2008), (Debonnaire, 2008)
Indicateurs environnementaux		(Leveillard, 2004), (Cikankowitz, 2005), (Dumoulineuf, 2010)	
Evaluation environnementale de la mobilité	(François, 2014)		

Tableau 17. Positionnement thématique des mémoires de master recherche initiés et encadrés

Les stages et mémoires de master recherche ont souvent permis d'approfondir un domaine, préalablement au lancement d'une thèse sur le sujet. Par exemple, le mémoire de Fabian Wernert (2004) a permis de commencer à définir une méthodologie de calcul de l'empreinte écologique pour une application industrielle, méthodologie précisée par la suite par (El Bouazzaoui, 2008). De même, (Cazenave, 2006), (Serrano, 2006), (Dabee, 2007), (Debonnaire, 2008) et (David 2008) ont permis d'aborder plus précisément la problématique des économies d'énergie dans le bâtiment afin de préciser les pistes de recherche qui ont ensuite pu être approfondies par (Villot, 2011).

Dans d'autres cas, les mémoires de master recherche peuvent venir en appui de thèses en cours. Par exemple, les travaux de N. Duchemin (2005) ont contribué à valider, en Rhône-Alpes, la méthodologie de diagnostic de développement durable pour les PME, proposée dans le cadre de la thèse de K. Delchet (2006).

Enfin, les mémoires de master sont parfois liés à des contrats de recherche. Par exemple, (Leveillard, 2004) et (Cikankowitz, 2005) ont permis de définir les méthodes d'analyse des impacts environnementaux de chantiers routiers de mise à deux fois deux voies de la RN7 – RN 82 dans le cadre de la mise en place d'un système de management environnemental au sein de la DDE 42. De même, S. Dumoulinneuf (2010) a contribué à mettre en place la méthodologie d'évaluation des impacts environnementaux liés aux activités de la station d'épuration Furania (Saint-Etienne) dans le cadre d'un contrat de recherche avec le groupe SAUR.

Publications

Analyse de l'impact de l'auteur "N Gondran" par Harzing, A.W. (2007) **Publish or Perish**, disponible sur http://www.harzing.com/pop.htm (consultation effectuée le 4 novembre 2014)

Papers:	92	Cites/paper:	3.34	h-index:	6	AWCR:	45.57
Citations:	307	Cites/author:	126.70	g-index:	17	AW-index:	6.75
Years:	15	Papers/author:	44.42	hc-index:	7	AWCRpA:	19.87
Cites/year:	20.47	Authors/paper:	2.64	hI-index:	2	e-index:	14.59
Cites/author/year:	8.44			hI,norm:	6	hm-index:	4.50

Articles dans des revues à comité de lecture

19 articles dans des revues à comité de lecture, dont 11 dans des revues internationales et 8 dans des revues nationales.

11 articles dans des revues internationales à comité de lecture, dont une à signature unique et une rédigée en collaboration avec un professeur de l'université de Californie de Berkeley (publication [8]) :

1. JAEGLER A., GONDRAN N., Estimating the carbon footprint of a road freight firm, perspectives to mitigate these emissions, *International Journal of business performance and supply chain modeling*, Vol.6, n°3/4, 2014
2. LE FÉON S., GONDRAN N., LAFOREST V., LE BOULCH D., Global warming impact assessment of urban mobility using motivation trip perspective – a case study of Saint-Etienne, France. *International Journal of Environmental Science and Engineering Research* (IJESER) Vol 3(3), pp.86-101, 2012
3. GONDRAN N., The ecological footprint as a follow-up tool for an administration: Application for the Vanoise National Park Ecological Indicator. *Ecological Indicators* (5-Year Impact Factor: 3.058), Vol.16, mai 2012, pp.157-166 (cité 4 fois)
4. DELCHET K., GONDRAN N., BRODHAG C. La prise en compte des parties intéressées : une condition nécessaire de la responsabilité sociétale des entreprises mais non suffisante dans une perspective de développement durable - Analyse des résultats des expérimentations du guide Afnor SD21000 auprès de 78 entreprises. *Revue Internationale PME*. volume 20, n°3-4, 2008, pp.121-145, PME2003, ISBN 978-2-7605-1545-1 (cité 2 fois[29])
5. LOURDEL N., GONDRAN N., LAFOREST V., DEBRAY B., BRODHAG C., Sustainable development cognitive map: a new method of evaluating student understanding. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, Vol. 8, n°2, 2007, pp.170-182 (cité 41 fois)
6. BOUTAUD A., GONDRAN N., BRODHAG C., Local Environmental quality versus (global) ecological carrying capacity: What might alternative aggregated indicators

[29] Les index de citation sont ceux proposés par le moteur de recherche scholar.google.com/ au 22 septembre 2014

bring to the debates about Environmental Kuznets Curves and Sustainable Development? *International Journal of Sustainable Development,* Volume 9 - Issue 3, pp.297-310 - 2006. (cité 6 fois)

7. LOURDEL N., HARPET C., LAFOREST V., GONDRAN N., BRODHAG C. (2006) Sustainable development training by simulation of an industrial crisis, *Journal of Design Research*, Vol5, N°2 pp 188-200 (cité 4 fois)
8. LOURDEL N., GONDRAN N., LAFOREST V. AND BRODHAG C.. Introduction of Sustainable Development in engineer's curricula : problematic and evaluation methods. *International Journal of Sustainability in Higher Education*. Vol.6, n°3, 2005, pp. 254 – 264, disponible sur http://www.emeraldinsight.com/Insight/ViewContentServlet?Filename=/published/emeraldfulltextarticle/pdf/2490060304.pdf (cité 50 fois)
9. BRODHAG C., GONDRAN N., DELCHET K. Du concept à la mise en œuvre du développement durable : théorie et pratique autour de guide SD 21000. *Vertigo*. Volume 5 n°2. Novembre 2004. Disponible sur http://www.vertigo.uqam.ca/vol5no2/art3vol5no2/c_brodhag_et_al.html (cité 26 fois)
10. GONDRAN N., KAMMEN D. De la pluridisciplinarité pour des ingénieurs généralistes vers une interdisciplinarité à la mesure d'ingénieurs éco-citoyens. *Didaskalia*. n°24. Mai 2004. pp.65 – 80 (cité 1 fois)
11. GONDRAN N., BRODHAG C. Rôle des partenaires des PME/PMI dans l'amélioration de leurs performances environnementales. *Revue Internationale PME*. volume 16, n°2, 2003 pp. 35-59 (cité 4 fois)

8 Articles dans des revues nationales à comité de lecture, dont 3 rédigées en collaboration avec des enseignants-chercheurs algériens

1. BOUBAKER L., DJEBABRA M., GONDRAN N., CHAABANE H., Maîtrise des impacts environnementaux par la modélisation du système physique, revue Déchets - Sciences et Techniques, n°60, 2011, pp.18-24
2. VILLOT J., GONDRAN N. et LAFOREST V., « Labels de la construction : quelle contribution possible au facteur 4 ? », *Développement durable et territoires* [En ligne] Vol. 2, n° 1, 2011, mis en ligne le 07 mars 2011, http://developpementdurable.revues.org/8834
3. BOUBAKER L., GONDRAN N., DJEBABRA M. Vers une combinaison ACV / AMDEC en vue de l'analyse environnementale d'une cimenterie algérienne, revue Déchets - Sciences et Techniques, n°52, 2008
4. GONDRAN N., BOUTAUD A., L'empreinte écologique des transports. Liaison Energie Francophone / Les cahiers de Global Chance. n°81, pp.27-30, décembre 2008, ISSN 0840-7827
5. GONDRAN N., FONTAINE N., Un système de management environnemental pour la maîtrise d'œuvre publique d'opérations routières : Quels périmètres dans le temps et dans l'espace ? *Développement Durable et Territoires* - Dossier 5 : Économie plurielle,

responsabilité sociétale et développement durable, Mis en ligne le : 6 avril 2006 Disponible sur : http://developpementdurable.revues.org/document1952.html (cité 2 fois)

6. BOUBAKER L., DJEBABRA M., GONDRAN N., Contribution à la capitalisation de la connaissance environnementale. Revue d'Information Scientifique et Technique, vol. 16, n°2, 2006
7. GONDRAN N., FORMISYN P., ENSUQUE I., BOESPFLUG X., BRODHAG C., Proposition d'une méthode de pré-diagnostic environnemental basée sur l'accès à l'information - Application à des entreprises tunisiennes, *Déchets - Sciences et Techniques*, n°18, Grenoble : SAP, 2ème trimestre 2000, pp39-45
8. ROCHE V., GONDRAN N., LAFOREST V., BRODHAG C., Gouvernance et environnement des petites et moyennes entreprises, *Les annales de la recherche urbaine*, n°86, Cachan : Lavoisier abonnements, juin 2000, pp.49-56

Contributions (orales ou affichées) à des congrès ayant donné lieu à des actes

24 communications dans des congrès internationaux

1. JAEGLER A., GONDRAN N., Comment réduire l'impact carbone du transport routier sur la chaîne logistique? *Congrès International de Génie industriel*, 12 – 14 juin 2013, La Rochelle.
2. JAEGLER A., GONDRAN N., How to Reduce the Carbon Footprint of Road Freight on Supply Chains? 2013 International Conf. on Advanced Logistics & Transport, 29-31 Mai 2013, Sousse, Tunisie
3. DUMOULINNEUF S., GONDRAN N., BURLAT P., Quelle articulation des problématiques sociales et environnementales au sein des organisations ?, Congrès RIODD 8 - Lille, 18-21 Juin 2013
4. LE FÉON S., GONDRAN N., LAFOREST V. AND LE BOULCH D. (2012) Environmental Impacts of Commuter Trips using Motivation Perspective – a case study of Global Warming Impact in Saint-Etienne, TAP 2012 - 19th International Transport and Air Pollution Conference 2012, Thessaloniki, Greece, 26-27 Novembre 2012
5. LE FEON S., LE BOULCH D., V. LAFOREST, N. GONDRAN. (2012) Adapting life cycle assessment for multi-criteria analysis of a complex system: case study of urban mobility, Poster session, SETAC 6th World Congress/SETAC Europe 22nd Annual Meeting, Berlin, Allemagne, 20-24 mai 2012
6. VILLOT J., GONDRAN N., LAFOREST V. (2011). Understanding the challenge of housing refurbishment using decision trees, ECEEE 2011 summer study, 1125-1132.
7. MOREAU V., GONDRAN N., LAFOREST V. Integrating Environmental Assessment Methods: Development of a New Approach. Functional Thinking for Value Creation - 3rd CIRP International Conference on Industrial Product Service Systems, Braunschweig : Allemagne (2011)
8. MOREAU V., GONDRAN N., LAFOREST V. Towards the Integration of Local and Global Environmental Assessment Methods: Application to Computer System Power

Management Dans Glocalized Solutions for Sustainability in Manufacturing 2011 - 18th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, Allemagne (2011) [emse-00592019 - version 1]

9. GONDRAN N. Ecological footprint of an organization: can it really be measured? Footprint Forum 2010, Colle Val d'Elsa, Italie, 9-10 juin 2010
10. SOULIGNAC V., CHANET J.P., PARIS J.L., DEVISE O., GONDRAN N., Knowledge management and innovative design: state of the art. MITIP 2009, 11th International Conference on the Modern Information Technology in the Innovation Processes of the Industrial Enterprises, Bergamo : Italy (2009) (cité 6 fois)
11. MOREAU V., GONDRAN N., LAFOREST V., Impacts locaux ou planétaires, aspects directs ou indirects: Définitions, Limites et prise en compte dans l'évaluation environnementale, Colloque international et consortium doctoral de l'ISEOR en partenariat avec l'Academy of Management, Lyon, France, 8-10 juin 2009.
12. EL BOUAZZAOUI I., GONDRAN N. and BOURGOIS J., Ecological Footprint at a Small Scale: Proposition of a Method and Model of Representation of Ecological Footprint for Industrial Activities, *New Developments In Ecological Footprinting Methodology, Policy and Practice,* 8-10 May 2007, Cardiff
13. BOUBAKER L., DJEBABRA M., GONDRAN N. (2007) Proposition d'une méthode d'identification et de maîtrise des impacts environnementaux significatifs, *Premières Rencontres Internationales sur l'Economie de l'Environnement d'Annaba "Industries et Environnement* ", Algerie
14. DELCHET K., GONDRAN N., BRODHAG C., JOUNOT A., La prise en compte des parties intéressées : une condition nécessaire de la responsabilité sociétale des entreprises mais une condition non suffisante dans une perspective de développement durable - Analyse des résultats des expérimentations du guide Afnor SD21000 auprès de 78 entreprises. *Premier congrès du Réseau international de recherche sur les organisations et le développement durable* (RIODD), 7 et 8 décembre 2006, à l' ESA, université Paris 12 Créteil-Val de Marne.
15. EL BOUAZZAOUI I., GONDRAN N., BRODHAG C., BOURGOIS J., Empreinte écologique : du global au local, comment mesurer l'emprise de l'homme sur l'environnement à l'échelle d'une organisation, *Colloque International Indicateurs territoriaux du développement durable*, Aix en Provence, 1-2 décembre 2005
16. GUILLOUX G., GABILLARD MM, GONDRAN N., RIZO SC, BRODHAG C., Ecomatériauthèques: visibility on the environmental impact of materials to help decision-making of designers, ecodesign, pp.957-961, 2005 4th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, 2005
17. DELCHET K., GONDRAN N., BRODHAG C., *Le SD21000,* guide français pour la prise en compte des enjeux du développement durable dans la stratégie et le management des entreprises, et son positionnement dans la perspective des travaux européens et internationaux, *congrès de l'ADERSE*, Lyon Octobre 2005
18. LOURDEL N., GONDRAN N., LAFOREST V., BRODHAG C. Introduction of sustainable development in engineer's curricula: problematic and evaluation methods. *Conférence Internationale: Engineering education in sustainable development*. Barcelone. 27-29 octobre 2004

19. BOUTAUD A., GONDRAN N. Courbes de Kuznets environnementales : l'apport des indicateurs alternatifs de type empreinte écologique dans la réflexion sur le développement durable. *Colloque international francophone « Développement durable : leçons et perspectives »*. Ougadougou. 1 - 5 juin 2004 (cité 2 fois)
20. LOURDEL N., GONDRAN N., LAFOREST V., DEBRAY B., BRODHAG C. Evaluation of student comprehension of sustainable development: use of cognitive map as indicator. *9th European Roundtable on Sustainable Consumption and Production*. Bilbao. 12 - 14 mai 2004 (cité 2 fois)
21. Abel Coindoz C., Blanchet C., Bonnier G., Bregeon J., Debrosse J.P., Deconinck J.F., Filippi M., De Gabrielli A., Garrigues P., Germon J.C., Gondran N., Grimm D., Mariotti A., Mathey F., Méclot B., Mombrun M., Ribeyre F., Rogé B., Roux-Marchand W., Vergnes J. (2004) *Comment intégrer les thématiques de l'environnement et les préceptes du développement durable dans une formation au service de la société ?* Colloque International Francophone « Éducation à l'environnement vers un développement durable » Paris. 14-15 avril 2004
22. GONDRAN N., BRODHAG C. Proposition of a method to distribute environmental information to SMEs - Application to the French context. In *Environmental Communication in the information society*. EnviroInfo Vienna 2002 - 16th International Conference: Informatics for Environmental Protection.. W. Pillmann, K. Tochtermann (Eds). Vienne (Autriche) : 25 -27 septembre 2002. ISBN 3-9500036-7-3. Pp.395-402
23. GONDRAN N., BRODHAG C., Role of stakeholder in the environmental information system of SME, *Euro environment 2000*, Aalborg, Danemark : 18-20 octobre 2000
24. GONDRAN N., BRODHAG C., Modèle de prise de décision et d'utilisation de l'information environnementale pour l'intégration de l'environnement par la PME / PMI, *5ème Congrès International Francophone sur les PME*, Lille : 25 au 27 octobre 2000. Disponible sur Internet : http://www.airepme.univ-metz.fr/cifpme.htm

3 communications dans des colloques nationaux

GONDRAN N., Le projet REPIS « Réflexion Et Propositions d'Indicateurs susceptibles de faire l'objet de Seuil de durabilité », Séminaire AO INDECO « Indicateurs environnementaux », 23 octobre 2013, Paris

GONDRAN N., SCHAMASCH T. De l'étudiant "candide" à l'ingénieur "responsable" : comment susciter l'engagement écocitoyen ? *Colloque écocitoyenneté*. Marseille : 18 - 19 novembre 2004.

GONDRAN N., BRODHAG C., Evaluation des besoins des PME en information environnementale, *Pollutec'99 - La synthèse*, Jacques Vigneron (Dir.). Grenoble : Economica, 2000. Pp. 315-316

Ouvrages et contributions à des ouvrages collectifs

Deux ouvrages co-rédigés dont un rédigé en collaboration avec un chercheur camerounais

1. BOUTAUD A., GONDRAN N., L'empreinte écologique, Editions La Découverte, collection Repères, février 2009, 128p. (cité 62 fois)
2. BRODHAG C., BREUIL F., GONDRAN N., OSSAMA F. *Dictionnaire du développement durable*. Editions AFNOR. 2004, 283 p. (cité 38 fois)

5 articles dans des ouvrages collectifs, dont deux articles à signature unique

1. GONDRAN N., BOUTAUD A., Bienvenue dans l'anthropocène ? La future métropole vue par 50 contributeurs. Grand Lyon prospective. Mars 2014, pp. 160-164
2. GONDRAN N., L'empreinte écologique : vers un nouveau paradigme pour l'évaluation de la durabilité ?. Agathe Euzen Laurence Eymard Françoise Gaill. *Le développement durable à découvert*, CNRS Editions, p 174-175, Sep. 2013
3. GONDRAN N., Comment agir à son niveau ? Calcul de l'empreinte écologique d'un habitant d'une résidence étudiant in JOLIA-FERRIER Laurent, WILLY Tania (Dir.). *L'empreinte écologique*. Sap Editions, 2006, 176 p.119-133
4. EL BOUAZZAOUI I., GONDRAN N., BOURGOIS J. Empreinte écologique : du global au local. Comment mesurer l'emprise de l'homme sur l'environnement à l'échelle d'une organisation In : LAZZERI Y. et SALORD S. *Les indicateurs territoriaux de développement durable* /ed. par. Paris : L'Harmattan, 2006.- p.157-171.
5. GONDRAN N., Penser global, agir local ? Principes et dilemmes des démarches territoriales de développement durable in GRAILLOT Didier, WAAUB Jean-Philippe, *Aide à la décision pour l'aménagement du territoire: méthodes et outils* (Traité IGAT, série Aménagement et gestion du territoire), Hermes – Lavoisier, mai 2006, pp.59-88
6. GONDRAN N., BREUIL F., Zincheria – Mise en situation professionnelle pour des élèves ingénieurs ou des étudiants de master 2 in Michelle MASSON-VINCENT (Dir.). *Jeu, géographie et citoyenneté*. De l'école à l'université. Editions Séli Arslan. 2005, pp. 180-191

Textes de vulgarisation ou de valorisation

La diffusion des connaissances scientifiques vers un public plus large que l'audience scientifique me semble une mission particulièrement importante d'un enseignant-chercheur, et j'y attache une attention particulière. Cet engagement se traduit en particulier par l'écriture régulière d'articles pour le grand public.

GONDRAN N., BOUTAUD A., Bienvenue dans l'anthropocène ? *La future métropole vue par 50 contributeurs*. Grand Lyon Prospective. Lyon, 2014, pp. 160-164

GONDRAN N. née en 17, *S!lence*, n°419, décembre 2013

GONDRAN N., Les sciences vont nous sauver !, *S!lence*, n°402, pp.8-9, Juin 2012

GONDRAN Natacha, La science va nous sauver ! *S!lence, juin 2012*

Participation au numéro 400 de la revue S!lence, L'écologie en 600 dates, mars 2012

GONDRAN Natacha, BOUTAUD Aurélien, Pourquoi un livre sur l'empreinte écologique ? interview croisée, L'Ecologitheque, mars 2010

GONDRAN Natacha, BOUTAUD Aurélien, Empreinte écologique : Comparer la demande et l'offre de ressources régénératives de la biosphère. *Encyclopédie du développement durable*, 4D – Editions des Récollets, décembre 2009, disponible sur http://www.encyclopedie-dd.org/Empreinte-ecologique-Comparer-la

GONDRAN Natacha, BERARD Christophe, Expérimentation du référentiel SD 21000 - Une opération collective en Rhône Alpes. *Vertitude* n°22 – Avril, mai juin 2006, pp.20-23

GONDRAN Natacha. NAYAC : Le soleil va t'il se lever dans les bras du ciel ? *S!lence*. Octobre 2004.

SOTELO Célia, GONDRAN Natacha Un management favorable à l'environnement, une chercheuse nous montre que ça existe. *Lettre mensuelle de Planete Facilty*. Mars 2004. Disponible sur Internet : http://planetefacility.cabestan.com/HTML/Newsletter_10/article_bouchet.htm#4

GONDRAN Natacha, LAFOREST Valérie, LOURDEL Nathalie Toucher la complexité du développement durable par le jeu, *Economie et Humanisme*, n0365, juin-juillet 2003, p26-27 (cité 3 fois)

GONDRAN Natacha. Rebelles et développement durable. *Archipel*. ISSN 1247-8490. Basel : Octobre 2002. Pp 5- 6

GONDRAN Natacha. Pour une sensibilisation environnementale grâce au téléphone arabe. *Combat nature n°140*. Février 2003

GONDRAN Natacha. Le moyen privilégié des PME est le contact direct. *Lettre hebdo du Courrier de l'environnement* n°412. Editions Sorman. 18 juin 2001. p.6

GONDRAN Natacha, BRODHAG Christian, Besoins des PME en informations environnementales : mise en place d'une étude, 1999, disponible sur Internet http://www.agora21.org/ddentre/article1099-00.html

GONDRAN Natacha. *Comparison of Three Prepartitioning Packages* . The National Publication for High-Performance Computing Applications and Techniques. Daresbury Laboratory. Novembre 1997. Disponible sur Internet : http://www.dl.ac.uk/TCSC/HPCI/HPCProfile/nov97/

Mémoires ayant permis de soutenir des diplômes

GONDRAN Natacha (2001), *Système de diffusion d'information pour encourager les PME-PMI à améliorer leurs performances environnementales*, thèse de doctorat en sciences et techniques du déchet, INSA de Lyon, ENSM de Saint Etienne, Novembre 2001, 378 p. (cité 26 fois)

GONDRAN Natacha (1998) Applications du microchromatographe MTI à l'analyse environnementale – Mémoire de DEA Sciences et Techniques du Déchet, septembre 1998, 51 p.

Rapports de fin de contrat.

GONDRAN N. , BOUTAUD A. (2013) L'empreinte écologique des régions françaises en 2008 - Application à l'échelle des Zones d'Etudes et d'Aménagement du Territoire, Rapport réalisé pour la région Nord Pas de calais. Septembre 2013

BOUTAUD A., GONDRAN N. (2011) Etude de faisabilité d'un calcul d'empreinte écologique à l'échelle des régions françaises, Rapport réalisé pour l'Association des régions de France et la région Nord Pas de Calais, septembre 2011, 53 p.

LAFOREST V., GONDRAN N., DUMOULINNEUF S. (2011) Méthode d'évaluation environnementale pour une station d'épuration : Proposition d'une méthode de représentation des impacts environnementaux adaptée à la station d'épuration de Saint-Etienne. Rapport réalisé pour la SAUR. Juillet 2011, 44 p.

GONDRAN N., BOUTAUD A. (2011) L'empreinte écologique du Parc National de la Vanoise: du constat à l'action, rapport pour le Parc National de la Vanoise, avril 2011, 70p., disponible sur http://hal-emse.ccsd.cnrs.fr/docs/00/60/09/98/PDF/Rapport_PNV_empreinte_final_2011.pdf

MOREAU V., GONDRAN N., LAFOREST V., BURLAT P., VINCENT L. (2010) projet Green IT, Etude réalisée pour le compte de CASINO IT, 106 p.

ALAMEDA P., GONDRAN N., KILLI A., MASSARDIER-NAGEOTTE V., SUBAI C. (2009) Etude "Campus éco-responsables en Rhône-Alpes" Rapport pour le Conseil Régional Rhône-Alpes et l'ADEME Rhône-Alpes, mai 2009, 38 p.

GONDRAN N., BOUTAUD A. (2009) L'empreinte écologique du Parc de la Vanoise. Etude réalisée pour le compte du parc National de la Vanoise, 53 p.

GUILLAUD E., LE FUR R., GONDRAN N. (2008) Plan Régional Environnement & Entreprises : diagnostic. Rapport rédigé pour le Conseil Régional de Picardie, décembre 2008

GONDRAN N., BOUTAUD A., JOLIA FERRIER L. (2007) Etude expérimentale de l'utilisation de l'empreinte écologique dans le cadre du renouvellement d'un quartier urbain. Mission réalisée pour le compte de la mission de préfiguration de l'Etablissement Public d'Aménagement de Saint-Etienne, avec le soutien de l'EPORA, avril 2007, 62p.

LE FUR R., GONDRAN N., VAILLANT H. (2007) Etude prospective "PME et développement durable". Rapport pour la Chambre Régionale de Commerce et d'Industrie Paris- Ile de France, mars 2007, 137 p.

BESSENAY C., BOUABDALLAH K., BREUIL F., DUPUIS B., GAY G., GONDRAN N., GRAILLOT D., LAURENT J.-B., MIMOUN D., PARAN F. et al (2007) Marges urbaines, re-développement et gouvernance multi-échelles. Programme D2RT 2003 (PUCA-MEDD), Politiques territoriales et développement durable, 155 p.

GONDRAN N., SCHNEIDER Y. (2006) Réaménager la zone de Molina la Chazotte dans le respect des principes du développement durable. Rapport final des travaux réalisés par

l'EMSE pour le compte de Saint Etienne Métropole dans le cadre de l'appel à projet sur " les outils et démarches en vue de la réalisation d'agendas 21 locaux " du MEDD, 39 p.

MASSON VINCENT M., GONDRAN N. (2006) Rapport d'exécution technique et financière du Projet Européen TEMPUS MEDA CD_JEP-30096-2002. Projet financé par le programme Européen TEMPUS MEDA

GONDRAN N. (2006) Rapport de restitution de l'expérimentation du SD 21000 en Rhône-Alpes – Description des entreprises engagées. Rapport pour le groupe AFNOR, janvier 2006, 92 p.

GONDRAN N. (2004) Mise en place d'un système de management environnemental à la DDE de la Loire pour la mise à 2X2 voies de la RN7 - RN 82. Rapport réalisé pour le service Transports et Infrastructures de la DDE 42, avril 2004, 39 p.

GENTILS A., GONDRAN N. (2003) Etude de faisabilité d'un système de management environnemental à la DDE de la Loire pour la mise à 2X2 voies de la RN7 - RN 82. Rapport réalisé pour le service Transports et Infrastructures de la DDE 42, novembre 2003, 53 p.

Dépôt de brevets ou référencements IDDN auprès de l'Agence de Protection des Programmes

Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne - Parc National de la Vanoise - Aurélien Boutaud Conseil, Outil de calcul d'empreinte écologique d'un Parc Naturel, IDDN.FR.001.250006.000.R.C.2010.000.31300 R, déposé le 21 / 06 / 2010

Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne – SAUR – EPUR'Impacts, outil d'évaluation des impacts d'une station d'épuration, déposée en juin 2012

Autres faits marquants

Invitations à donner des conférences et à participer à des congrès et émissions scientifiques de radios nationales

Invitée à l'émission « *France Info junior* » « L'homme s'est déjà trop servi sur la planète pour 2013 », *France Info*, 6 septembre 2013, disponible sur http://www.franceinfo.fr/emission/france-info-junior/2013-2014/overshot-day-il-faudrait-1-5-terre-pour-faire-face-la-consommation-actuelle-05-02-2014-14

BOUTAUD A., GONDRAN N., Où en est notre empreinte écologique ? *Emission scientifique Planète Terre*, France Culture, 20 juin 2012, disponible sur http://www.franceculture.fr/emission-planete-terre-ou-en-est-notre-empreinte-ecologique-2012-06-20

GONDRAN N., L'approche empreinte écologique : fondements, intérêts et limites. Séminaire de travail « *Emplois verts dans les secteurs de l'agriculture et de la forêt* », Conseil Régional rhône-Alpes, 7 juin 2012, Lyon

GONDRAN N., Participation à la table ronde "Développement durable du territoire et formation : quels besoins en termes de formation ?", séminaire "*Politiques territoriales et Développement Durable*", 23 octobre 2008

GONDRAN N., Participation à la table ronde "Développement durable: quelle formation pour une nouvelle culture professionnelle et de nouveaux métiers?", séminaire "*Politiques territoriales et Développement Durable*" PUCA - MEDD, Tours, 16-17 novembre 2006

GONDRAN N., BOUTAUD A., « Empreinte écologique, forces et faiblesses scientifiques ». Séminaire expérimental du Ministère de l'écologie et du développement durable « Restitution de recherches pour un développement durable », 29 mars 2006

GONDRAN N., Freins et leviers à l'adoption de systèmes de management environnemental dans les PME, *Séminaires PME : Regards croisés sur l'entreprise,* Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, 28 novembre 2005

Organisations de congrès nationaux et internationaux,

Membre du comité scientifique du colloque **Eau, Déchets et Développement Durable (E3D),** 16-19 juin 2014, Alès, France

Membre du **comité scientifique des rencontres CNRS jeunes « Sciences et citoyens ».** Chaque année, le Centre national de la recherche scientifique permet à 450 jeunes européens de 18 à 25 ans, et à une centaine de chercheurs de toutes disciplines de débattre et de dialoguer. Dans ce cadre, j'ai été responsable des ateliers « Qu'est-ce que la richesse ? » (2009), « Peut-on résister aux technologies » (2010) et « Peut-on parler de sciences exactes ? » (2012).

Membre du Conseil scientifique et chairwoman de la table ronde « Responsabilité Sociétale des Entreprises et PME » du 3eme **congrès du RIODD** (Réseau International Organisations et Développement Durable) "responsabilité sociale et environnementale. Nouvelles formes organisationnelles", 5 et 6 juin 2008, Lyon, France.

Chairwoman et évaluateur pour le 11ème **Congrès de la Société Française de Génie des Procédés**, session « Valorisation de la biomasse », 9-11 octobre 2007

Rapporteur d'un atelier du colloque « Ville et développement Durable » organisé par le R2D2 (Réseau Rhône-Alpin), Décembre 2006

Membre du comité scientifique du colloque "Engineering Education in Sustainable Development", (EESD 2006), INSA de Lyon, 4 au 6 octobre 2006

Evaluation d'articles pour des revues internationales

Evaluateur pour 5 revues anglophones internationales, à comité de lecture et référencées par les moteurs de recherche scientifiques :

Ecological indicators, Elsevier, Facteur d'impact sur 5 ans : 3,058 (environ un article par mois évalué)

Journal of Cleaner Production, Elsevier, Facteur d'impact sur 5 ans : 2,958 (environ un article par an évalué)

International Journal of Technology Management, Inderscience publisher, Facteur d'impact : 0,519

International Journal of Environment and Sustainable Development, Inderscience publisher

Educational Research, Routledge, Facteur d'impact : 0.898

Evaluateur pour 4 revues francophones internationales et à comité de lecture : « Revue Internationale PME », « Management international », «développement durable et territoires » et « VertigO ».

Evaluateur pour la collection *Repères* des éditions *La Découverte.*

Prix

Prix Léo Jansen : Meilleur article pour N. Lourdel, V. Laforest, N. Gondran and C. Brodhag (2004) Introduction of sustainable development in engineer's curricula : problematic and evaluation methods, *Conférence Engineering Education in Sustainable Development*, Barcelone

Prix du meilleur poster des **11èmes journées régionales de la recherche en Rhône-Alpes,** Saint-Etienne : 20 septembre 2000

Séjours à l'étranger

Janvier - mars 2002 : Séjour Post-doctoral au sein de l'Energy and Resources Group (Renewable Appropriate Energy Laboratory) de l'**Université de Californie de Berkeley, USA**

Juillet 1998 : Stage de DEA effectué à l'Univesité Polytechnique de Catalogne, Barcelone

Juillet août 1997 : Stage ingénieur effectué au sein du Daresbury Laboratory du Council for the Central Laboratory of the Research Councils (CCLRC), Warrington, Grande Bretagne (recherche sur la programmation avec des ordinateurs en parallèle de modèles de simulation de dynamique des fluides)

Septembre 1996 - Juin 1997 : année universitaire à **l'Université de Sheffield, Grande Bretagne,** dans le cadre d'un échange ERASMUS au sein du département Chemical engineering.

Ces expériences à l'étranger ont été des opportunités de rencontres et de réflexions qui m'ont aidée à effectuer mon choix d'engagement dans le domaine de l'enseignement supérieur et la recherche. Elles m'ont également permis de consolider mes orientations méthodologiques. Dans la mesure de la possibilité d'être allégée de mes charges actuelles d'enseignement, une nouvelle mobilité à l'international pourrait être envisagée vers des destinations telles que York University, ou la TU de Berlin, par exemple, qui sont à la pointe dans le domaine de

l'évaluation basée sur la consommation (empreintes carbone et écologique), et en particulier sur les sujets de recherche proposés dans le cadre de mon premier axe de recherche (utilisation des tableaux entrées sorties).

Diffusion des connaissances scientifiques vers le grand public et les décideurs

Le sujet abordé, l'évaluation des pressions environnementale et la représentation de ces pressions interdit une recherche déconnectée de la société civile. Cela implique donc la confrontation avec divers acteurs. La diffusion, tant vers les décideurs (politiques, administratifs et industriels) que vers le grand public, des connaissances scientifiques développées en termes d'évaluation environnementale, est donc une préoccupation importante. Un équilibre est à rechercher entre le temps à accorder à la recherche, à l'enseignement et les sollicitations pour participer tant à des missions d'expertise, qu'à de l'échange avec différents citoyens, jeunes ou moins jeunes, sensibilisés ou non aux questions environnementales. Cependant, j'ai à cœur d'échanger sur mes sujets de recherche avec des personnes qui ne sont pas spécialisées sur ces questions mais qui s'y intéressent à titre personnel. Ainsi, j'interviens régulièrement dans le cadre de débats auprès du grand public (café débats, Université pour Tous, Université de tous les savoirs auprès des lycéens, voire interventions dans des classes de lycées).

Cet engagement de diffusion des connaissances vers un plus large public a deux objectifs : sensibiliser différents citoyens aux enjeux qui se cachent derrière l'évaluation environnementale mais aussi, animer des débats sur mes sujets de recherche afin de pouvoir bénéficier à ces occasions des retours de « citoyens profanes » ou d'experts professionnels travaillant sur mes sujets d'études sur la perception des enjeux abordés et les outils développés.

Missions d'expertise

Au niveau national :

- **Audition** auprès de la Commission « Les indicateurs du développement durable et l'empreinte écologique » du **Conseil Economique, Social et Environnemental**, Paris, 23 mars 2009
- Participation au **Comité de suivi** de l'étude menée par le Service de l'observation et des statistiques du Commissariat général au développement durable : Tregouet B. (dir.), 2010, « Une expertise de l'empreinte écologique », Observation et statistiques n°16. Commissariat Général au Développement Durable.
- Membre du Comité Scientifique des Rencontres CNRS Jeunes "Sciences et Citoyens".

Au niveau régional :

- Participation au **Comité de pilotage de l'Observatoire Régional des Gaz à effet de serre** (OREGES), co-présidé par l'Etat et la Région, et dont l'animation est portée par Rhônalpénergie-Environnement et le financement assuré par la Région et l'ADEME.

Au niveau local :

- Membre du CA des associations OCIVELO (promotion du vélo en ville), HELIOSE (Espace Info Energie de la Loire) et AMAP du Crêt de Roch, depuis 2014
- Participation au comité de pilotage de l'Opération Programmée d'Amélioration Thermique des Bâtiments du Parc Naturel régional du Pilat (2007 – 2009)
- Participation au **comité technique** du Plan Climat Energie de Saint-Etienne Métropole (2009 – 2011)

De nombreuses conférences « Grand public »

Dans le cadre de mon engagement vers une diffusion des connaissances vers un public plus large, plusieurs interventions sont régulièrement effectuées auprès de lycéens dans le cadre de l'Université de tous les savoirs au Lycée (Lycée professionnel Ampère de Marseille, le 23 mars 2010, CFA Hôtellerie en Avignon, le 14 mars 2011), ou de l'opération « Réussir aujourd'hui » (EMSE, Saint-Etienne, le 13 juin 2012).

D'autre part, à titre personnel, j'ai participé à de nombreuses conférences-débats auprès d'un public adulte : Université populaire de Montélimar (décembre 2013), café débat à Villefranche sur Saône (janvier 2014)n après la projection de films (Saint-Chamond et Saint-Etienne (2005) ; Saint-Sernin (mars 2012)), dans le cadre de « cafés des sciences » (Grenoble (2002), Saint-Etienne (2009, 2010)), d'Université de tous les Savoirs (Saint-Julien-Molin-Molette (2005), Rodez (2009), Saint-Agrève (2011)), ou des Assises chrétiennes de l'écologie (Saint-Etienne, 2011).

Formation

Mes activités d'enseignement visent à sensibiliser les étudiants à la nécessité de comprendre et prendre en compte les enjeux environnementaux dans leurs décisions futures, à leur montrer la complexité de cette prise en compte et à leur donner des outils pour évaluer et maîtriser les impacts environnementaux liés à leur future (ou actuelle) activité professionnelle.

Elles s'adressent principalement à des étudiants ayant des profils techniques (élèves ingénieurs civils des Mines (ICM) et élèves ingénieurs par alternance et en formation continue (ISTP)), ou à des étudiants de master recherche (masters recherche « Sciences de l'Environnement Industriel et Urbain » et « Systèmes Territoriaux, Aide à la Décision et Environnement »).

Outre quelques cours théoriques, selon un format traditionnel, permettant de contextualiser les connaissances et les projets, les moyens pédagogiques utilisés sont principalement le tutorat d'étudiants sur des études de cas concrètes, l'apprentissage par projet et la mise en situation professionnelle.

Responsabilités en cycle Ingénieur Civil des Mines de l'EMSE

Depuis 2014

Responsable du défi sociétal « Transition énergétique » (120 h entre les 2 et 3eme années) *[24 élèves / an]*

Responsable d'un module de formation sur la transition écologique dans le cadre du module d'ouverture à la responsabilité sociétale pour les étudiants de 1ere année *[30 élèves / an]*

Responsable du module d'ouverture secteur d'activité « environnement » *[24 élèves / an]*

Participation à la majeure « Environnement Industriel et Territorial » (droit de l'environnement) et à la toolbox « évaluation environnementale » (bilan carbone)

De 2003 à 2014

UP environnement au sein du pôle PME de 1A du cycle ICM (4h30 de cours et deux projets personnels et par équipe), *[130 élèves / an]*

UP orientation professionnelle en racine d'option environnement ICM (12h) *[10 élèves / an]*

UP Maîtrise de l'énergie et Economie, Management et droit de l'environnement dans l'axe « Maîtrise de l'Energie et de l'Environnement » de deuxième année ICM (67,5 h) (réalisation de TD et projets pédagogiques sur le thème du droit de l'environnement, le Bilan carbone, l'efficacité énergétique) *[24 élèves / an]*

UP « développement durable » (24h) commune aux options de 3ème année ICM environnement et Procédés et énergie ainsi qu'au master STADE : composée de cours théoriques et d'une étude de cas sur un projet concret, cette UP permet à des étudiants de profils différents de travailler ensemble et en complémentarité sur un projet commun *[30 élèves / an]*

Modules « Energies renouvelables » et « Projet industriel » (90 h chacun) en option environnement de 3A ICM.

Responsabilités en master recherche

Responsable du master SEIU au niveau de l'EMSE (à partir de 2014)

Module Gestion de l'environnement et développement durable du master STADE (2003-2015) *[5 élèves / an]*

2 Modules d'enseignement à distance dans le cadre du master STADE (Jeu de rôle autour du développement durable et aménagement du territoire – module développement durable) (depuis 2003) *[10 élèves / an]*

Evaluation intégrée des impacts environnementaux (Master SEIU, depuis 2005) *[10 élèves / an]*

Responsabilité en formation par alternance et formation continue à l'ISTP / spécialité Génie industriel

Participation à l'équipe d'ingénierie pédagogique des formations d'ingénieur par alternance et continue « Valorisation énergétique »

Module « Etude de cas » du domaine d'approfondissement « développement durable » de l'ISTP (24 h) *[24 élèves / an]*

Modules de « droit de l'environnement » et « Management environnemental » (18h) du tronc commun de la formation par alternance de l'ISTP (jusqu'en 2011) *[120 élèves / an]*

Module de « droit de l'environnement » (6 h) de la formation continue de l'ISTP (jusqu'en 2011) *[24 élèves / an]*

En formations spécialisées

Mastère Spécialisé EERB (Efficacité Energétique dans la Rénovation des Bâtiments), Cours de projet solaire (6 h, depuis 2014) ; ACV (3h, depuis 2014) **[***15 élèves / an*]
IPSAS, Sfax, Tunisie : droit et diagnostic environnemental (6h, depuis 2014) [*10 élèves / an*]

En formation doctorale [*15 élèves /an]*

PACT 35 « Les métiers de l'environnement » (depuis 2003, 12h)

DSPT3.3 «Quelle durabilité : du global au local ?» (depuis 2003, 12 h)

ANNEXE 2. Références de 5 publications essentielles

GONDRAN N., The ecological footprint as a follow-up tool for an administration: Application for the Vanoise National Park Ecological Indicator. *Ecological Indicators* (5-Year Impact Factor: 3.058), Vol.16, mai 2012, pp.157-166

LOURDEL N., GONDRAN N., LAFOREST V., DEBRAY B., BRODHAG C., Sustainable development cognitive map : a new method of evaluating student understanding. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, Vol. 8, n°2, 2007, pp.170-182 (cité 10 fois)

BOUTAUD A., GONDRAN N., BRODHAG C., Local Environmental quality versus (global) ecological carrying capacity: What might alternative aggregated indicators bring to the debates about Environmental Kuznets Curves and Sustainable Development? *International Journal of Sustainable Development,* Volume 9 - Issue 3, pp.297-310 - 2006. (cité 3 fois)

GONDRAN N., Penser global, agir local ? Principes et dilemmes des démarches territoriales de développement durable in GRAILLOT Didier, WAAUB Jean-Philippe, *Aide à la décision pour l'aménagement du territoire: méthodes et outils* (Traité IGAT, série Aménagement et gestion du territoire), Hermes – Lavoisier, mai 2006, 436 p.

GONDRAN N., KAMMEN D. De la pluridisciplinarité pour des ingénieurs généralistes vers une interdisciplinarité à la mesure d'ingénieurs éco-citoyens. *Didaskalia*. n°24. Mai 2004. pp.65 – 80 (cité 1 fois)

Evaluation et représentation des enjeux environnementaux dans une perspective de transitions écologique et énergétique

Résumé

De nombreux articles scientifiques alertent sur les risques de conséquences irréversibles et de changements environnementaux brutaux provoqués par l'atteinte des limites planétaires pour différents processus naturels du système Terre. Ces constats appellent à des changements, à court et moyen termes, de nos comportements et modes de vie afin de limiter nos pressions sur l'environnement. Dans ce contexte global, nous considérons l'évaluation environnementale comme un moyen de construire de nouvelles représentations de l'environnement afin d'amener les acteurs à mieux prendre en compte les enjeux écologiques à différentes échelles. A cette fin, nous souhaitons développer des outils d'évaluation qui ne reposent pas sur le postulat de substituabilité entre capital naturel et capital humain.

Nos travaux de recherche se positionnent à l'interface entre les outils d'évaluation de niveau « macro » et ceux au niveau « micro » de chaque organisation. Ils s'appuient sur des approches de comptabilité environnementale basées sur les consommations des systèmes étudiés (et non sur leurs seules émissions directes). Positionnés dans une logique de recherche intervention, ils ont pour objectif de proposer, aux acteurs impliqués, un élargissement de leurs critères de décision afin de les amener à prendre conscience et à identifier les impacts de leurs activités sur l'environnement et les aider à les optimiser. Afin de répondre aux besoins de leurs utilisateurs, les outils de comptabilité environnementale développés s'appuient sur différentes méthodologies : analyses de risques, évaluation qualitative à base d'indicateurs, méthodologies d'analyse multicritère, analyse de cycle de vie et empreinte écologique.

La problématique de l'évaluation implique la recherche d'un double équilibre à trouver, d'une part, entre approche normative versus approche évaluative et d'autre part entre précision et exhaustivité scientifique versus l'expression de résultats simples souhaités par les usagers des outils proposés. Elle requiert également une approche interdisciplinaire, basée sur la recherche-intervention, que nous discuterons en décrivant quelques principes que nous essayons de suivre pour guider nos méthodologies de recherches.

Nos perspectives de recherche s'inscrivent dans une volonté de proposer aux acteurs impliqués des outils de comptabilité environnementale visant à guider les transitions écologiques et énergétiques. Ces perspectives se structurent autour de trois axes de recherche complémentaires et un axe transverse de réflexion.

- Notre premier axe vise à appliquer des méthodes de comptabilité environnementale à d'autres systèmes complexes que ceux étudiés jusqu'alors.
- Le deuxième axe a pour objectif d'améliorer les outils d'évaluation existant dans une perspective d'aide à la décision.
- Notre troisième axe de recherche propose une réflexion amont sur le choix de nouveaux indicateurs qui semblent nécessaires dans une perspective de transition, tant par la forme que par le fond du choix des indicateurs.
- Enfin, nous ouvrons des pistes de réflexion transverses en nous interrogeant sur le lien entre le temps, la vitesse, l'accélération et la durabilité.

Mots clés : Evaluation environnementale, pressions sur l'environnement, empreinte écologique, interdisciplinarité, durabilité