



Nancy-Université
INPL



Laboratoire d'Ecologie Alpine de Grenoble
LECA-CNRS,
Université Joseph Fourier, BP 53,
38041 Grenoble Cedex 9

Caractérisation des techniques d'ingénierie écologique employées en faveur de la biodiversité

Une base de données pour la restauration de milieux naturels

**Enhancing biodiversity through ecological engineering methods:
why and how?**

Encadré par Dr. Fabien Quetier

CROUZAT Emilie

Mémoire en vue d'obtenir le Diplôme d'Ingénieur de l'ENSAIA mention
Agronomie et spécialité « Sciences et Technologies de l'Environnement »

Oral soutenu le 20 septembre 2011

Résumé

Face à la dégradation des milieux naturels, les projets de restauration des écosystèmes et de compensation des impacts d'aménagements se multiplient. Un outil majeur des praticiens de la restauration est l'ingénierie écologique, qui croise les connaissances techniques et scientifiques sur les milieux et espèces impactés en vue de repositionner les écosystèmes sur une trajectoire écologique choisie.

Les cadres réglementaires nationaux et internationaux en construction poussent vers une plus grande rigueur dans la prise en compte de la biodiversité dans les aménagements humains mais par ailleurs, les notions de fiabilité et de délai liées aux techniques mises en œuvre ne sont que rarement connues et prises en compte dans le processus décisionnel.

Le projet de recherche interdisciplinaire « Ingénierie et équivalence » propose une approche générique pour caractériser les projets en faveur de la biodiversité et les techniques d'ingénierie écologiques qu'ils utilisent. Pendant le stage, des renseignements issus d'une enquête de terrain sur des projets de restauration de milieux naturels ont permis la structuration de l'information recueillie et sa mise à disposition au travers d'une base de données relationnelle. Les actions et enjeux visés par les projets ont été analysés afin d'en déterminer les caractéristiques en termes de probabilité de réussite, de délais d'atteinte des objectifs et de degré de dépendance à des facteurs extérieurs. Ce travail est maintenant destiné à être validé et diffusé auprès des acteurs de la compensation et de la restauration, afin de permettre une plus grande fiabilité et un meilleur dimensionnement des mesures mises en œuvre.

Mots clés : ingénierie écologique, restauration des écosystèmes, compensation d'impacts, base de données, gain écologique.

Abstract

In response to the widespread damage caused to natural areas, ecosystem restoration and impact offset projects are multiplying. They are often based on ecological engineering techniques which use both scientific and technical knowledge to initiate or accelerate ecosystems recovery.

National and international regulatory frameworks increasingly require that human impacts on biodiversity and ecosystems be taken into account and mitigated. However the decision-making process about selecting and sizing appropriate measures to offset impacts through restoration rarely acknowledge differences in duration and reliability between restoration techniques.

A research project on "Engineering and Equivalence" was launched to propose a generic framework for describing restoration projects and characterizing the ecological engineering techniques they use. During the training period, information was collected through an interview-based survey of documented restoration projects and then organized into a database. Projects have been analyzed on the basis of the issues they address and the techniques they used, their reliability, the time needed for reaching their objectives and their vulnerability to outside factors. The resulting database is now going to be presented and discussed with specialists involved in restoration and offset measures, in the hope that reliability, delays and vulnerability can be better incorporated in their projects.

Keywords: ecological engineering, restoration, mitigation, database, ecological gains.

Sommaire

I. Étude bibliographique	4
Pourquoi s'intéresser à la « réparation » de milieux naturels ?.....	4
L'ingénierie écologique : un outil au service de la biodiversité ?.....	6
Une volonté de proposer un outil global de structuration et de caractérisation des techniques d'ingénierie écologique : le projet IngEcoTech	9
II. Démarche et méthodes	10
Quelle méthodologie générale pour caractériser les actions d'ingénierie écologique ?.....	10
Etape 1 : Comment organiser de façon symétrique les informations issues de projets différents ?.....	11
Etape 2 : S'inspirer de cas réels pour construire un outil robuste : la pré-enquête et l'enquête de terrain.....	12
Etape 3 : Comment caractériser les données recueillies ?.....	13
Etape 4 : Proposer une formalisation de projet adaptable et pertinente : la base de données IngEcoTech	14
III. Résultats acquis	15
Les projets recensés.....	15
La caractérisation fine des actions d'ingénierie écologique.....	18
Proposition de structure de base de données	23
IV. Discussion	27
D'un point de vue technique, quelle est la validité de la démarche mise en œuvre et quels sont les points à valider ?	27
Comment se situe l'outil IngEcoTech dans le contexte scientifique et politique actuel ?...	30
V. Conclusion et perspectives	34
VI. Bibliographie	35
VII. Liste des abréviations	37
VIII. Annexes	38

I. Étude bibliographique

Pourquoi s'intéresser à la « réparation » de milieux naturels ?

La conservation des écosystèmes ne suffit plus

L'humanité doit répondre à une demande croissante des besoins de ses populations, dans un environnement modifié voire dégradé par ses activités passées. Changement climatique, perte de la fertilité des sols agricoles, diminution de la fonctionnalité des écosystèmes, érosion de la biodiversité, les nombreuses pressions qui s'exercent demandent une réponse concertée et éclairée des acteurs et décideurs au niveau mondial, et une déclinaison locale des réponses apportées (Barot, 2011). Les écosystèmes sont au cœur de ces problématiques d'adaptation, en tant que producteurs de biens et services et maillons unitaires fonctionnels. Leur dégradation s'accélère du fait de l'artificialisation des sols, qui touche aujourd'hui 86 000 ha par an en France (soit l'équivalent d'un département tous les sept ans sur la période 2006-2009, contre un tous les dix ans sur la période 1992-2003) (Teruti-Lucas, 2010). En conséquence, la conservation des espaces naturels ne suffit plus, et un effort de « réparation » doit être porté sur les surfaces dégradées, par nécessité ou par éthique, selon les regards (Cristofoli et Mahy, 2010).

« Éviter-Réduire-Compenser », la prise en compte de la biodiversité dans les aménagements humains

Le contexte réglementaire européen et français a suivi l'évolution de cette prise de conscience sociétale, et se traduit aujourd'hui par la mise en œuvre d'une séquence « Éviter-Réduire-Compenser » dans tout projet touchant à la biodiversité et aux milieux naturels. L'idée générale est qu'un porteur de projet doit imaginer et mettre en œuvre les solutions techniques lui permettant d'éviter tout impact majeur et négatif sur le milieu naturel. Si cela lui est impossible, il faudra alors aménager son projet de façon à en réduire les impacts. Enfin, des mesures compensatoires seront proposées *« en contrepartie aux effets négatifs directs et indirects du projet qui n'ont pas pu être évités ou suffisamment réduits. Elles présentent un caractère pérenne et sont mises en œuvre en priorité sur le site endommagé ou à proximité fonctionnelle de celui-ci. Elles doivent permettre de conserver globalement, et si possible d'améliorer la qualité environnementale des milieux »* (version du 26 janvier 2011 du projet de décret portant réforme des études d'impacts).

Bien que la notion de compensation ait été introduite dès 1976 dans la législation française (article 2 de la loi n°76-629 du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature), il a fallu attendre la mise en conformité progressive avec la directive Habitats de 1992, qui s'est traduite par une série d'arrêtés pris début 2007, pour voir son application effective. Cette « redécouverte » de la compensation en France (Quétier, 2011) a permis de préciser les procédures de dérogation pour les impacts sur les espèces protégées et leurs habitats, ainsi que sur les habitats de type Natura 2000.

En 2008, la loi dite de Responsabilité Environnementale (LRE) s'appuie sur les bases législatives américaines concernant les pollutions accidentelles (les *Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act* de 1980 et *Oil Pollution Act* de 1990) pour exiger une réparation en nature des « dommages écologiques purs » (Chevassus-au-Louis 2009) intentionnels ou accidentels. Cette loi vise les « détériorations directes ou

indirectes mesurables de l'environnement qui affectent gravement le maintien ou le rétablissement dans un état de conservation favorable », en s'attachant à la fois aux espèces, aux habitats et aux services écologiques qu'ils fournissent. Doivent dès lors être compensés les impacts initiaux et résiduels, issus d'une réparation incomplète ou trop longue à mettre en place, qui n'ont pu être évités ni réduits (Pioch et al., 2010).

Plus récemment encore, l'impulsion créée par le Grenelle de l'Environnement en 2007 a conduit à réformer l'étude d'impact, au travers de la loi 2010-788 du 12 juillet 2010. L'étude d'impact est une étape préalable aux projets d'ampleur portant atteinte à l'environnement, elle liste l'ensemble des impacts environnementaux causés par le projet, et jusqu'à la réforme, citait également les « *mesures proportionnées envisagées pour éviter, réduire, et si possible, compenser les effets négatifs notables du projet sur l'environnement* ». La nouvelle mouture oblige à « *fixer les mesures à la charge du pétitionnaire ou du maître d'ouvrage* », précise les modalités de suivi de leurs effets et indique de plus les sanctions encourues en cas de non-conformité des réalisations avec les engagements, ce qui représente donc une réelle avancée pour la mise en œuvre effective des mesures compensatoires. L'obligation de suivi suscite également un besoin d'organisation de l'information générée.

Le Grenelle de l'Environnement a aussi conduit à la mise en place des trames vertes et bleues (TVB) qui visent à la préservation et la restauration des continuités écologiques dans un contexte de fragmentation des territoires et des habitats naturels. La séquence « Éviter-Réduire-Compenser » s'intéresse désormais également aux perturbations portant sur les flux biotiques.

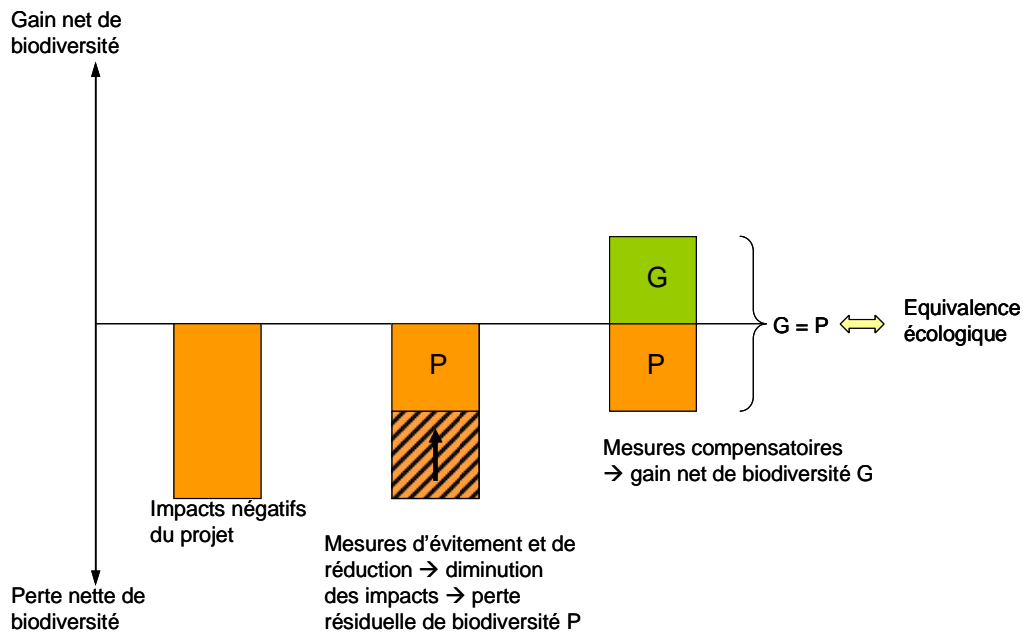
Ces initiatives sont chapeautées par les Stratégies pour la Biodiversité élaborées au niveau national (Stratégie Nationale pour la Biodiversité, 2011) et européen (EU Biodiversity Strategy to 2020, 2011). Toutes deux incluent des objectifs de restauration écologique ambitieux. La stratégie européenne vise à rétablir 15% des écosystèmes dégradés d'ici à 2020, en accord avec l'objectif mondial de la Convention sur la Diversité Biologique défini à Nagoya. La stratégie nationale a été mise à jour en 2010-2011, suite au constat d'échec de la première tentative initiée en 2004. Elle a été présentée en mai 2011 par Nathalie Kosciusko-Morizet, ministre de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement. La ministre a alors insisté sur la valeur économique des biens et services liés à la biodiversité et a annoncé qu' « il ne s'agit pas de préserver l'existant, qui n'est absolument pas satisfaisant, mais de restaurer des continuités écologiques et des milieux naturels ».

La sphère politique semble donc décidée à appuyer la conservation et la restauration des écosystèmes, au niveau national comme global. L'argumentaire juridique et législatif est en train de se structurer, et représente une opportunité pour encadrer les aménagements d'ampleur, sans remettre en cause leur légitimité, mais en souhaitant mieux prendre en compte les enjeux de biodiversité en vue d'atténuer nos impacts.

La compensation d'impacts : vers l'équivalence écologique

Un aménagement portant sur un milieu naturel induit un impact lié à une perte nette de biodiversité. Cette perte peut porter sur des espèces, leurs habitats, des habitats naturels ainsi que sur des fonctionnalités (connectivité, épuration des eaux, lutte contre l'érosion etc.). L'obligation d'appliquer des mesures pour éviter puis réduire les impacts permet de diminuer cette perte nette, mais demeure en général insuffisante pour annuler tous les effets négatifs. Le projet génère dès lors une perte résiduelle de biodiversité, que les mesures de compensation

visent à combler. Le but est d'atteindre la neutralité écologique du projet en produisant un gain de biodiversité équivalent au minimum aux pertes résiduelles : c'est l'équivalence écologique (figure 1).



D'après Quétier, 2011

Figure 1 : L'équivalence écologique. Les impacts négatifs d'un projet engendrent une perte nette de biodiversité, qui se voit réduite dans un premier temps par les mesures d'évitement et de réduction pour donner la perte résiduelle P. Les mesures compensatoires permettent un gain net de biodiversité G qui doit compenser la perte résiduelle pour atteindre l'équivalence écologique.

Portée d'une part par une volonté sociétale aux considérations éthiques et humanistes et d'autre part par l'obligation légale de compenser les conséquences négatives des perturbations anthropiques, la « réparation » d'écosystèmes dégradés prend de l'ampleur. Les projets de renaturation se multiplient, ils visent la reconquête des espaces utilisés, modifiés, dégradés par une activité humaine, afin de les mettre à disposition de la faune et de la flore ou de relancer des processus écologiques modifiés ou empêchés. Cette démarche requiert des connaissances techniques et scientifiques sur les milieux et espèces impactés. Dans la boîte à outils des praticiens se trouve une discipline encore peu connue du grand public et des décideurs, mais qui se révèle pourtant intéressante pour mener ces projets, l'ingénierie écologique.

L'ingénierie écologique : un outil au service de la biodiversité ?

De quoi parle-t-on ?

Un vaste champ scientifique et technique s'ouvre devant celui qui s'attelle à opérer la transition entre un milieu dégradé et un milieu fonctionnel. On y parlera à loisir de restauration écologique, d'ingénierie écologique, de réhabilitation, d'écosystème de référence... La complexité des termes, leurs définitions parfois croisées et les objectifs différents des porteurs de projet méritent quelques définitions et éclaircissements tirés ici, sauf précision, de l'« ABCdaire sur l'écologie de la restauration » (Society for Ecological Restoration (SER), 2004).

La **restauration écologique** est définie comme « *le processus par lequel on accompagne le rétablissement d'un écosystème qui a été dégradé, endommagé ou détruit* ». Cette notion, qui s'est développée aux Etats-Unis dans les années 1970, vise donc à assister ou initier le repositionnement d'un écosystème sur sa trajectoire écologique initiale. Un des enjeux de la restauration consiste à caractériser cette trajectoire, à choisir un **écosystème de référence** qui s'entend comme « *une approximation de l'état souhaitable, une norme choisie parmi plusieurs états alternatifs possibles et accessibles par une succession d'étapes appelée trajectoire* » (Le Floch et al., 1995). La restauration peut par la suite être **passive**, si elle compte sur les processus naturels et la colonisation spontanée, ou **active**, si le cours des interventions est dirigé par l'homme. La restauration écologique consiste donc en une action intentionnelle tandis que l'**écologie de la restauration** « *fournit des concepts clairs, des modèles, des méthodologies et des outils pour aider les praticiens dans leurs pratiques* ». On parlera par ailleurs de **réhabilitation** si le but est la réparation des processus (par exemple de la productivité de l'écosystème) sans s'attacher de façon particulière aux communautés biotiques liées au milieu. La **gestion** consistera elle à « *des actions intervenant sur des milieux non dégradés ou déjà restaurés* », dans le but de maintenir le milieu dans un état défini (Clewel et Aronson, 2010). Certains écosystèmes sont intrinsèquement liés à un entretien par l'Homme, ce peut être le cas de prairies qui ne demeurent ouvertes que sous une pression de pâturage maîtrisée. Dans ce cas, la gestion fait partie des éléments initiaux permettant de maintenir le milieu dans sa trajectoire écologique. Dans d'autres cas, le besoin d'entretien est induit par l'incapacité des actions de restauration à rétablir l'ensemble des fonctionnalités et espèces nécessaires, faute de moyens techniques ou d'un paysage écologique environnant favorable. Il faut dans ce cas pallier aux manques ou déséquilibres non restaurés par une intervention humaine régulière sur le milieu.

L'ensemble de ces actions est parfois regroupé sous le terme d'**ingénierie écologique** qu'on définira ici comme « *la gestion de milieux et de ressources, la conception, la réalisation et le suivi d'aménagements ou d'équipements inspirés de, ou basés sur les mécanismes qui gouvernent les systèmes écologiques* ». Ses buts sont ainsi « *l'optimisation de la gestion des ressources naturelles, la restauration des milieux naturels dégradés, et le pilotage de fonctions et de services écosystémiques* » (Manifeste de l'ingénierie écologique, 2011).

L'ingénierie écologique utilise ainsi les processus écologiques pour « *atteindre les buts spécifiques des hommes et résoudre des problèmes techniques* ». Un manque de consensus flagrant entoure de flou cette notion, soixante ans après sa première définition. Howard T. Odum, fondateur de la discipline en 1962, la conçoit comme « *la manipulation de l'environnement par l'Homme, qui en utilisant de petites quantités d'énergies supplémentaire contrôle des systèmes dans lesquels le principal levier vient de sources naturelles* ». Le très récent « Manifeste de l'ingénierie écologique » comprend cette discipline comme un moyen pour « *le passage d'une artificialisation incontrôlée de systèmes vivants à leur transformation explicite, maîtrisée et adaptative* ». Ainsi, l'Homme cherche à manipuler le vivant pour atteindre un but défini, grâce à des savoirs et techniques issus de la recherche scientifique ou de l'empirisme et s'appuyant sur les mécanismes du vivant. Le scénario du *Technogarden* proposée par le Millenium Ecosystem Assesment illustre cette trajectoire. L'ingénierie écologique permettrait alors d'utiliser des écosystèmes parfaitement gérés en vue d'en retirer les services qu'ils produisent. L'inclusion de savoirs écologiques traditionnels (Traditional Ecological Knowledge, ou TEK) permettrait de soumettre à l'épreuve du temps des techniques dont l'évaluation demeure souvent incertaine et délicate à court terme (Bodin-Darasse et Wallenberger, 2010).

Des théories au terrain

La définition large de l'ingénierie écologique lui permet de s'appliquer à une diversité importante d'écosystèmes, de fonctions et de niveaux de dégradation (Bodin-Darrasse, Wallenberger, 2010). Pourront s'en revendiquer à la fois la maîtrise de l'érosion de berges d'un cours d'eau par une technique de génie végétal, la réimplantation d'espèces protégées dans un paysage écologique favorable, la création d'un habitat favorable à certaines espèces animales etc. ... Les techniques employées pour répondre à ces buts seront dès lors très variées elles-aussi, et peuvent aller d'une intervention mécanique lourde (terrassement par pelle marais, modification du substrat par broyeur de roches hydraulique...) à une action à minima qui crée les conditions favorables à une restauration passive (ajustement du niveau d'eau par une vanne ...).

La réalisation sur le terrain des projets demande d'adapter les techniques issues souvent du génie civil aux exigences des systèmes vivants complexes. L'ouverture d'une mare comme habitat du triton crêté nécessitera par exemple d'adapter le profil des berges à ses caractéristiques écologiques. L'alliance des connaissances écologiques à un savoir-faire technique doit donc être recherchée pour tout projet, et une attention particulière doit être portée à l'encadrement sur le terrain des responsables de sa mise en œuvre.

Un outil à considérer avec recul

L'ingénierie écologique s'entend donc comme un outil au service de buts décidés par l'Homme. Il faudra dès lors se méfier de tentatives de récupération de cette appellation à des fins de *greenwashing* ou pour des projets « écologiques » dont la qualification de durable reste douteuse.

De plus, les risques liés à son emploi à grande échelle sont parfois pointés du doigt. En effet, la « *planification anthropique* » qui remplacerait les équilibres dynamiques spontanés naturels peut induire une perte majeure de résilience pour les écosystèmes (Bodin-Darrasse et Wallenberger, 2010). D'une part, les buts visés par l'ingénierie écologique sont en général moins variés que les services produits par la Nature, et d'autre part il faut garder en tête la difficulté à réparer de façon satisfaisante les fonctionnalités et caractéristiques de chaque écosystème. On retrouvera ici la distinction classique entre restauration et réhabilitation écologique, cette dernière portant uniquement sur quelques fonctions.

Une autre critique souvent formulée tient en cette question : la biodiversité est-elle substituable (Chevassus-au-Louis et al., 2009) ? En effet, si l'on peut compenser en nature les dommages causés à la nature ou produire un service « équivalent » à celui détruit de façon différente (non naturelle), la question de la qualité de la substitution devient primordiale, car deux écosystèmes semblables selon certains critères (ceux identifiés et définis par l'Homme) peuvent ne pas être équivalents ou strictement identiques sur l'ensemble de leurs fonctions et caractéristiques écologiques.

La dépendance à la technique pourrait créer de nouveaux problèmes, car malgré une approche proactive, certaines menaces ou modifications de l'environnement imprévues seraient susceptibles de bouleverser les équilibres créés, induisant de nouvelles perturbations à résoudre et demandant un investissement financier très élevé (MA Biodiversity Synthesis Report, 2005).

Un encadrement éthique et économique doit donc se mettre en place autour du concept d'ingénierie écologique, afin de maîtriser sa mise en œuvre et éviter de tomber dans les travers d'une « Nature de pacotille » (Bodin-Darrasse et Wallenberger, 2010). En France, ce rôle pourrait être tenu en partie par le Haut Conseil des Biotechnologies, dont les domaines de compétences couvrent, en plus de la génétique et la santé, « *les sciences appliquées à l'environnement, notamment en biodiversité, écologie, et en écotoxicologie* » (décret n°2008-1273 du 5 décembre 2008).

Une volonté de proposer un outil global de structuration et de caractérisation des techniques d'ingénierie écologique : le projet IngEcoTech

Partant du constat que les démarches de caractérisation des techniques utilisées en ingénierie écologique mériteraient d'être appuyées en France, le Programme de Recherche Interdisciplinaire IngEcoTech, financé par le CNRS et le Cemagref, a été lancé en 2010. C'est dans le cadre de ce programme que le projet « Ingénierie et Équivalence » a été initié pour proposer un outil servant à la diffusion et à l'analyse de techniques employées en faveur de la biodiversité dans des projets de restauration, au sens large, de milieux naturels. Un tel outil permettra de couvrir de nombreux milieux et enjeux, et devra s'adapter à des projets d'ampleur très variée, afin de multiplier ses utilisateurs potentiels. Le but de ce projet est de caractériser les actions mises en œuvre dans les cas réels étudiés, afin de permettre à un acteur de la compensation, par exemple, de choisir en connaissance de cause entre différentes actions répondant à l'enjeu qui l'intéresse, et de dimensionner ces actions en fonctions de leur probabilité de succès et du délai d'atteinte des résultats. C'est dans le cadre de ce projet qu'a été réalisé ce travail.

La construction de l'outil est l'objet de ce rapport, qui présentera ci-après la démarche de collecte des informations, leur structuration et s'intéressera également à sa diffusion et valorisation, compte-tenu de ses caractéristiques et limites.

II. Démarche et méthodes

Le manque de diffusion et de formalisation des connaissances liées aux techniques d'ingénierie écologique représente aujourd'hui un frein à la conception et la mise en œuvre appropriées des projets de restauration de milieux naturels. La conception et le dimensionnement des mesures compensatoires n'intègrent ainsi que superficiellement les questions de fiabilité des techniques d'ingénierie écologique visant à créer, restaurer et gérer des milieux et les délais dans lesquels elles permettent d'atteindre un objectif d'état écologique.

Le projet détaillé ici contribuera à formaliser des critères et méthodes permettant de prendre en compte ces notions d'efficacité, de coûts et de délais en synthétisant dans un format approprié l'information existante sur les techniques d'ingénierie. L'approche proposée est basée sur la consultation des experts et praticiens de l'ingénierie écologique et la production d'outils adaptés aux acteurs de la compensation.

Quelle méthodologie générale pour caractériser les actions d'ingénierie écologique ?

Notre projet vise à construire les fondations d'une base de données d'actions en faveur de la biodiversité qui puisse être utilisée, et alimentée, par les acteurs de la conservation / gestion de la nature et en particulier les acteurs de la compensation écologique. Une telle base de données pourrait être conçue sur une base purement théorique mais nous avons choisi au contraire de la construire à partir de projets documentés d'ingénierie écologique en faveur de la biodiversité. Cette contrainte permet de garantir la pertinence de l'outil construit vis-à-vis du type d'informations dont disposent les experts et praticiens qui mènent de tels projets.

Les projets recensés peuvent concerner une grande variété d'enjeux de biodiversité : des espèces végétales ou animales, leurs habitats, des habitats naturels, ou encore des fonctionnalités écologiques. Pour que la base de données soit robuste face à cette diversité, nous avons également fait le choix de favoriser dans l'échantillonnage des porteurs de projets et des choix techniques de mise en œuvre différents. L'objectif du projet n'est donc pas d'être exhaustif, mais de formaliser une base de données qui puisse s'adapter aux besoins de structures différentes (publiques ou privées) qui seraient à même de l'alimenter et d'en diffuser le contenu.

Notre objectif est donc de construire la structure d'une base de données permettant de décrire la fiabilité, les délais et les coûts des techniques d'ingénierie écologique en faveur de la biodiversité. Pour atteindre ce but, nous avons structuré le projet en quatre étapes :

1. Concevoir une grille d'analyse des cas documentés organisant de façon symétrique les informations provenant de projets très divers.
2. Réaliser un recensement de cas documentés sur un large spectre d'enjeux et de types d'actions.
3. Utiliser ces cas documentés pour identifier les leviers utilisés et les actions concrètes correspondantes et faire la synthèse de leur fiabilité, leurs délais et leurs coûts.
4. Formaliser la structure d'une base de données permettant d'accéder rapidement à cette information depuis plusieurs entrées et la diffuser auprès du public cible.

Etape 1 : Comment organiser de façon symétrique les informations issues de projets différents ?

Les projets recensés étant très différents, il est essentiel de formaliser une grille d'analyse permettant de les décrire de façon similaire et de réorganiser l'information recueillie dans une base de données. Cette grille d'analyse est représentée schématiquement à la Figure 2 ci-après.

Pour chacun des projets analysés au cours de l'enquête, nous avons fait le choix de décrire les enjeux visés par le projet, c'est-à-dire les espèces cibles, les habitats à restaurer ou encore les fonctionnalités à réhabiliter. Ces enjeux sont caractérisés par les objectifs des acteurs du projet, ainsi que par la mesure du succès prévue. Chaque enjeu se décline en leviers d'action qui ont été utilisés pour satisfaire aux objectifs : ainsi, il est possible de jouer sur la végétation, l'hydrologie, le paysage écologique environnant, la topographie etc. Chacun des leviers identifié est ensuite mis en œuvre par des actions concrètes. Se posent alors parmi d'autres les questions du choix des outils et des techniques, de leurs alternatives, du calendrier de mise en œuvre, des coûts...

En distinguant les enjeux, les leviers d'action et les actions proprement dites, cette grille d'analyse permet de structurer l'information de telle sorte que la base de données soit accessible depuis plusieurs « entrées » selon les objectifs de l'utilisateur.

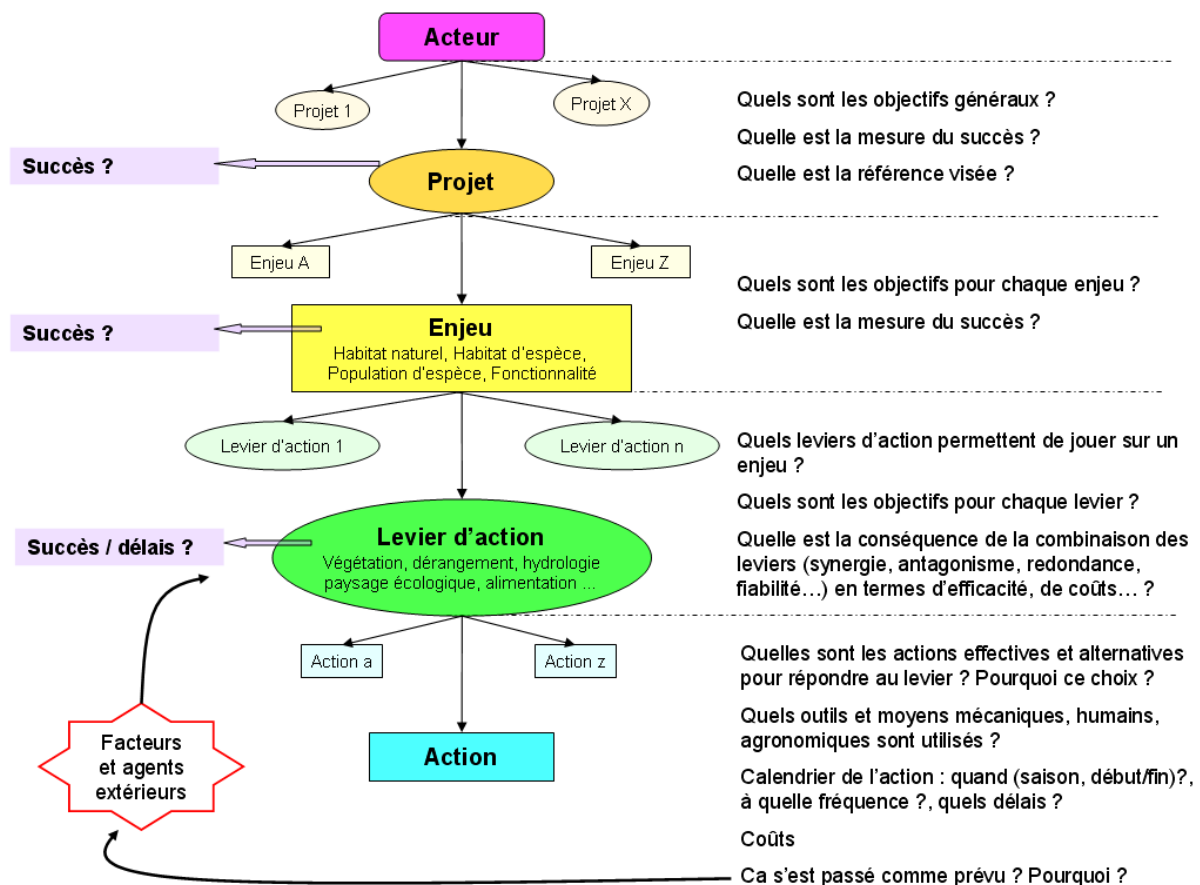


Figure 2 : Organisation de l'information issue du recensement de projets. Représentation schématisée de la grille d'analyse des entretiens auprès des experts et praticiens ayant mené des projets d'ingénierie écologique (au sens large) en faveur de la biodiversité.

Etape 2 : S'inspirer de cas réels pour construire un outil robuste : la pré-enquête et l'enquête de terrain

Afin de favoriser le succès de notre démarche de recensement, une pré-enquête a été lancée en amont de l'enquête proprement dite en s'appuyant sur les réseaux d'écologues existants. La pré-enquête visait à identifier des personnes ressources et le type de projets sur lesquels elles avaient travaillé. Ce travail a également permis d'informer les futurs contacts de notre démarche. L'enquête proprement dite a commencé en mars 2011.

Des réseaux d'écologues alliant professionnels de terrain et chercheurs

Parmi les porteurs de l'ingénierie écologique, les réseaux de professionnels jouent un rôle très important dans la structuration de la discipline et sa diffusion. Les trois principaux en France aujourd'hui sont REVER, GAIE et AGéBio. Le premier (Réseaux d'Echanges et de Valorisation en Ecologie de la Restauration) a pour but « d'organiser et de favoriser les relations entre gestionnaires, praticiens, étudiants et scientifiques œuvrant dans les domaines de l'écologie de la restauration et/ou de la restauration écologique », le second (Groupe d'Application de l'Ingénierie des Ecosystèmes) « développe et diffuse la théorie et la pratique de l'ingénierie écologique », et le dernier (Association française de Génie Biologique pour le contrôle de l'érosion des sols) « promeut l'utilisation des techniques de génie biologique pour le contrôle et la gestion de l'érosion des sols ». Les échanges entre praticiens et chercheurs qu'ils permettent sont autant d'opportunités de faire remonter les expériences de chacun et de mettre en avant les raisons du succès ou de l'échec des projets d'ingénierie écologique. De nombreux documents issus de ces réseaux vont dans le sens de la diffusion des connaissances et du partage des informations, conditions nécessaires pour une meilleure évaluation de l'efficacité des méthodes employées en ingénierie écologique et donc une plus grande acceptabilité de ces techniques au quotidien.

La pré-enquête (octobre 2010 > février 2011)

Destinée à recueillir des informations générales sur les projets d'ingénierie écologique (milieu, objectifs...), la pré-enquête a été lancée en octobre 2010 auprès de divers contacts dont les réseaux REVER, Gaié et AGéBio et les organismes ayant des préoccupations similaires (Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques, Fédération des Conservatoires Régionaux d'Espaces Naturels). Des experts et praticiens de divers horizons ont été sollicités et informés de notre démarche, individuellement ou collectivement lors du colloque Gaié (décembre 2010), des journées d'échange du réseau REVER (février 2011) ou des journées techniques sur la compensation organisées par le Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement Méditerranée (mars 2011).

Un site web a été créé afin de centraliser l'information sur le projet IngEcoTech et faciliter l'échange d'information entre les partenaires et avec les personnes concernées par l'enquête. L'adresse du site est <http://ingecoval.pbworks.com>. On y trouvera notamment le questionnaire de la pré-enquête ainsi qu'une synthèse des résultats.

L'enquête (mars 2011 > juillet 2011)

Entre mars 2011 et juillet 2011, les contacts pressentis lors de la pré-enquête ont été sollicités pour une rencontre. Le choix des acteurs à enquêter a donc d'abord été orienté par les réseaux de connaissances, qui nous ont envoyé vers des personnes susceptibles de répondre favorablement à nos demandes. Par la suite, les acteurs ont été sélectionnés en fonction des caractéristiques de leur projet. Le but étant de favoriser la diversité des enjeux et milieux rencontrés, nous avons construit une grille permettant de cibler les manques de notre

échantillonnage et de contacter les porteurs de projets encore peu représentés. Ce tableau est présenté complété dans la section Résultats (Tableau 1).

D'une durée de 1h30 à 3h, l'entretien, sous forme d'une discussion semi-dirigée, a permis de mettre en lumière les points clés du projets, ses caractéristiques ainsi que les résultats des actions menées. Certains entretiens ont eu lieu sur le site restauré même, les autres, en bureau, ont été illustrés par les documents de travail relatifs au projet.

Un guide d'entretien a été construit sur la base de la grille d'analyse (Figure 2) et testé auprès des partenaires du projet avant les premières interviews. Au terme du recensement, vingt-cinq projets ont été détaillés et analysés, en majorité suite à des entretiens, et quelques uns sur base bibliographique pure.

Chaque projet analysé fait l'objet d'une retranscription écrite exhaustive, reprenant sous forme tabulaire la structure de la grille d'analyse, d'une présentation en arborescence détaillant les actions menées sur le terrain ainsi que d'une fiche synthétique résumant le contexte, les enjeux et le bilan de chaque projet.

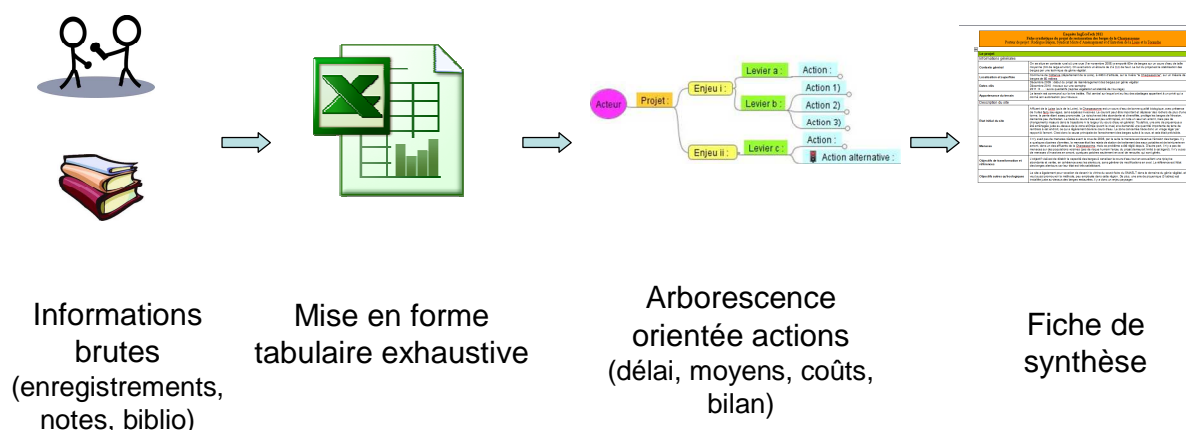


Figure 3 : Des données brutes à leur valorisation : l'organisation de l'information. Les données issues des entretiens et lectures bibliographiques sont progressivement synthétisées sous trois formats différents, identiques pour tous les projets.

Etape 3 : Comment caractériser les données recueillies ?

Une synthèse préliminaire des leviers d'actions et des actions utilisés par les experts et praticiens recensés a permis d'identifier les variables clés (indicateurs, délais, coûts...) et d'en déterminer les gammes de variation. Les critères de dépendance et de fiabilité sont particulièrement importants.

C'est à partir de cette analyse qu'a été construite une échelle d'évaluation applicable à une grande variété d'actions, dont on a testé également la pertinence et la reproductibilité par des lectures comparées de certains projets (cohérence inter-évaluateur).

La valorisation effective de l'enquête nécessitera cependant un approfondissement de l'analyse (prévu au cours de l'automne 2011), dont sa valorisation scientifique, ainsi qu'une étape de validation de la part des acteurs de la conservation / gestion de la nature et des acteurs de la compensation. Cette étape est prévue pour le premier semestre 2012, avec comme point d'orgue l'organisation d'un séminaire d'échange sur la base de données.

Etape 4 : Proposer une formalisation de projet adaptable et pertinente : la base de données IngEcoTech

Une première proposition de structure de base de données a été formulée à partir de l'analyse des cas recensés et des besoins des acteurs intéressés par l'utilisation de la base de données.

La réflexion a été enrichie par des échanges avec les acteurs concernés par l'ingénierie écologique, afin de favoriser ultérieurement son appropriation et son enrichissement progressif au sein de ces structures. Dans une optique de transversalité et d'échange entre partenaires, des bases de données de structures communes ou inter-compatibles prennent tout leur intérêt, même si leur contenu et l'ajout de fonctionnalités supplémentaires est laissée à la charge et la disposition de chacun des partenaires.

Il a été choisi de construire cette base de données à l'aide du logiciel PostgreSQL. En effet, ce logiciel libre d'accès permettra à de multiples acteurs de l'essayer et il est suffisamment répandu et utilisé pour que sa robustesse ne soit plus à prouver.

La dernière étape du projet tend vers l'appropriation du travail présenté par les acteurs de la compensation et de la restauration de milieux naturels. Différentes échelles de diffusion et de modalités d'emplois sont possibles, comme nous pourrons le voir dans la dernière partie de ce rapport.

III. Résultats acquis

Les projets recensés

Les renseignements fournis par la pré-enquête

La pré-enquête a reçu 32 réponses et plusieurs jeux de documents. Les réponses provenaient en grande partie des gestionnaires de sites (Parcs Naturels Régionaux, Conservatoires de Sites Naturels, Syndicat Mixte...) et d'organismes publics (Office National des Forêts, Office National de la Chasse et la Faune Sauvage...). Les milieux naturels concernés sont essentiellement des milieux humides (tourbières, marais) ou aquatiques bien que de nombreux milieux herbacés aient été mentionnés (prairies alpines, pelouses sèches...). Les projets sont principalement des projets de restauration et/ou de réhabilitation de milieux. Plus rarement, les projets visaient la gestion régulière d'un site voire la recréation d'écosystème. Certains projets décrits font l'objet de recherches et bénéficient d'un suivi scientifique.

Des données acquises majoritairement par des entretiens en direct

Au terme de la phase de recensement, vingt-cinq projets ont été analysés. Dix-huit ont été acquis grâce à un entretien en direct avec le porteur de projet et complétés par des documents de travail fournis à cette occasion, cinq projets ont été basés uniquement sur des documents écrits, c'est-à-dire par recherche bibliographique, et un seul entretien a fait l'objet d'une visite de terrain en groupe lors d'un colloque mais n'a pas été complété par des documents écrits par la suite. Le plan d'échantillonnage est repris dans le tableau 1 ci-dessous. On y retrouvera la volonté de diversifier les enjeux et les types d'actions employés, comme détaillé ci-après.

		LEVIERS D'ACTION											
		dérangement	Equilibre physico-chimique	espèces ingénieur	hydrologie	mortalité juvénile	paysage écologique	pratiques culturelles	protection physique	sol	topographie	végétation	
E N J E U X	Fonctionnalité	Connexion hydrologique			×								
		Continuité écologique			×								
		Erosion			×						xx	xx	
		Production de biomasse								×			
		Puits de carbone			×							×	
		Régime hydrologique			xx							×	
		Trajectoire écologique										×	
	Habitat d'espèce	Faune à faible rayon d'action				×		×			×		
		Faune à grand rayon d'action	×	×		xxx		×			xxxx	xxx	
		Flore				xx				×	×	xx	
	Habitat naturel	Formations herbacées (semi) naturelles			×					xx		xx	
		Habitats côtiers et végétation halophyte							×	×	×	xx	
		Habitats d'eau douce					×		×		×		
		Landes et fourrés tempérés							×	×	×	×	
		Tourbières hautes et basses				xx	×				×	xxx	
	Population d'espèce	Faune à large rayon d'action					×						
		Flore					×	×	xx	×	×	xx	xxx
		Microfaune/flore		×						×	×	×	

Tableau 1 : Le plan d'échantillonnage complété. La diversité des enjeux et des leviers d'actions a pour but de créer un outil robuste et adapté à une large palette de situations et d'acteurs. Les croix figurent le nombre de projets correspondant au croisement d'un levier et d'un enjeu donnés.

Un recensement très large

Pour créer un outil robuste capable de s'adapter à la plus grande variété de cas possibles, nous avons favorisé l'analyse de projets traitant de milieux et d'enjeux très différents, comme présenté dans le tableau ci-dessous (figures 4A et 4B).

Qui sont les porteurs de projets ?

N'étant pas un critère de choix pour l'échantillonnage, la structure du porteur de projet est intéressante à étudier *a posteriori*, car elle permet d'identifier les acteurs de la restauration de milieux naturels et donc les utilisateurs potentiels de l'outil base de données IngEcoTech à créer (figure 4C). Le monde de la recherche paraît très investi dans le domaine de l'ingénierie écologique, où se côtoient par ailleurs les instances publiques et des entreprises privées. Notre échantillonnage ne représente que peu les associations de protection de la nature, qui sont toutefois des acteurs importants dans la restauration de milieux naturels.

A : Milieux concernés par les projets	Nb de projets	B : Enjeux visés par les projets	Nb de projets	C : Structure du porteur de projet	Nb de projets
Forêts	4	Enjeu habitat d'espèce végétale	2	Association de protection de la nature	1
Habitats côtiers et végétation halophyte	5	Enjeu population d'espèce animale	2	Entreprise privée	4
Habitats d'eau douce	6	Enjeu habitat d'espèce animale	5	Collectivités et établissements publics	5
Zones Humides	7	Enjeu habitat naturel	8	Gestionnaire de sites	5
Formations herbacées naturelles et semi-naturelles	7	Enjeu fonctionnalité	8	Unité de recherche	10
		Enjeu population d'espèce végétale	9		

Figure 4 : Caractéristiques des projets recensés (milieux et enjeux du projet, structure du porteur de projet). Les projets recensés couvrent des milieux très divers (A) et s'intéressent à des enjeux très divers (B). Les porteurs de projets (C) appartiennent à des structures publiques comme privées. L'échantillonnage a favorisé le monde de la recherche mais ne représente que peu les associations de protection de la nature.

Des projets bien documentés

Le recul par rapport aux travaux permet d'estimer le délai écoulé entre le chantier et les évaluations (suivis formels ou informels) qui ont permis de conclure sur l'atteinte des objectifs. Ici, la figure 5 montre qu'en général, les cas présentés disposent d'un recul suffisant (1 à 5 ans) pour avoir une première idée des trajectoires écologiques qui s'installent et donc de la fiabilité des techniques par rapport à l'objectif visé. Certains projets présentent un réel recul (5 à plus de 20 ans) et renseignent sur la vision à long terme.

Un autre point à citer ici concerne les suivis mis en œuvre suite aux travaux. Tous les projets, à l'exception d'un seul, font l'objet de suivis scientifiques, avec des indicateurs définis au préalable. Notons toutefois que le choix des suivis effectués semble parfois plus tenir des compétences locales disponibles que d'une réflexion par rapport aux objectifs qui avaient été fixés à l'origine du projet.

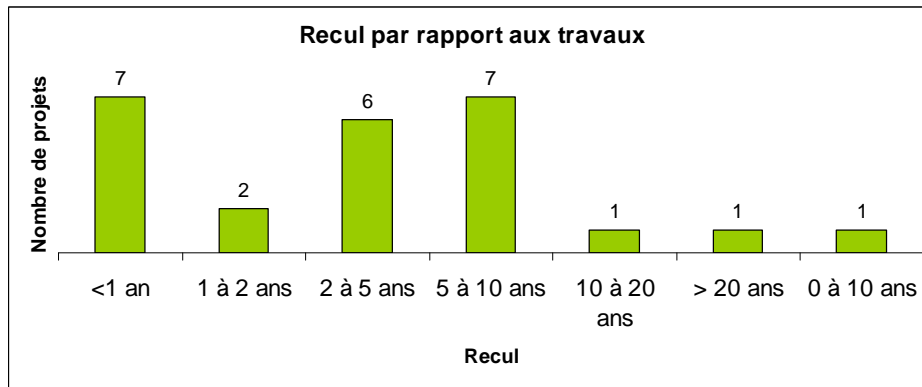


Figure 5 : Délai entre les travaux et l'entretien d'enquête. La plupart des projets possèdent un recul suffisant pour pouvoir donner les premières conclusions, certains peuvent même renseigner sur une vision à long terme. Un projet est caractérisé par une phase de travaux qui s'étale sur une dizaine d'années.

Enfin, à propos de l'aspect économique des projets, seuls huit projets sur vingt-cinq ont communiqué à propos de la répartition des coûts liés à la mise en œuvre générale du projet ainsi qu'au détail des travaux. Ce manque est à relier à la fois au caractère confidentiel de certaines données et à leur accès parfois compliqué selon les situations et le rôle de l'enquête. L'analyse économique semble donc délicate à mener et ferait l'objet d'un projet à part entière. La question des coûts liés aux mesures compensatoires sera abordée dans le cadre d'un atelier organisé par l'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER) de Brest en novembre 2011.

A l'issue de la première phase du projet, nous avons donc à notre disposition des informations sur vingt-cinq cas documentés réels. Chaque dossier a été retranscrit et analysé de manière à pouvoir mutualiser par la suite les informations qu'il contient. Dans un deuxième temps, nous nous sommes penchés sur une analyse croisée des données, afin de caractériser les techniques utilisées et de mettre sur pied la structure de la future base de données.

La caractérisation fine des actions d'ingénierie écologique

Une caractérisation issue de l'organisation globale de l'information

La structuration globale des projets telle qu'elle a été décrite plus haut en « Projets → Enjeux → Actions » explique les choix qui ont été pris pour caractériser les informations dont nous disposons. Ainsi, nous avons souhaité identifier les facteurs déterminants dans la réussite ou l'échec des méthodes mises en œuvre à la fois au niveau général des enjeux et au niveau particulier que représentent les actions. En fonction des données et du détail des informations de chaque projet, ces sections seront plus ou moins complétées, l'important étant que la structure globale permette d'accueillir le maximum de renseignements.

Les variables définies pour la caractérisation reflètent les notions de délais d'atteinte des résultats et de probabilité de succès, elles seront détaillées ci-dessous.

La figure 6 illustre la manière dont nous avons pensé la structure de la base de données et la relation entre les entrées principales (projet, enjeu, action) et leur caractérisation.

Il existe de nombreuses manières de rendre compte de l'efficacité d'une action, tout l'enjeu de notre démarche étant d'en définir une qui soit facile à appréhender à la lecture et reproductible à la notation, deux évaluateurs différents devant arriver aux mêmes conclusions pour une

action donnée. Nous avons donc choisi de mettre en avant différents critères qui nous ont paru les plus pertinents pour caractériser les actions et enjeux. Ces critères sont liés à des échelles de notation qui permettent de situer chaque projet relativement à l'item considéré. Nous présenterons ci-après les différents critères de caractérisation et les échelles de notations pressenties pour chacun.

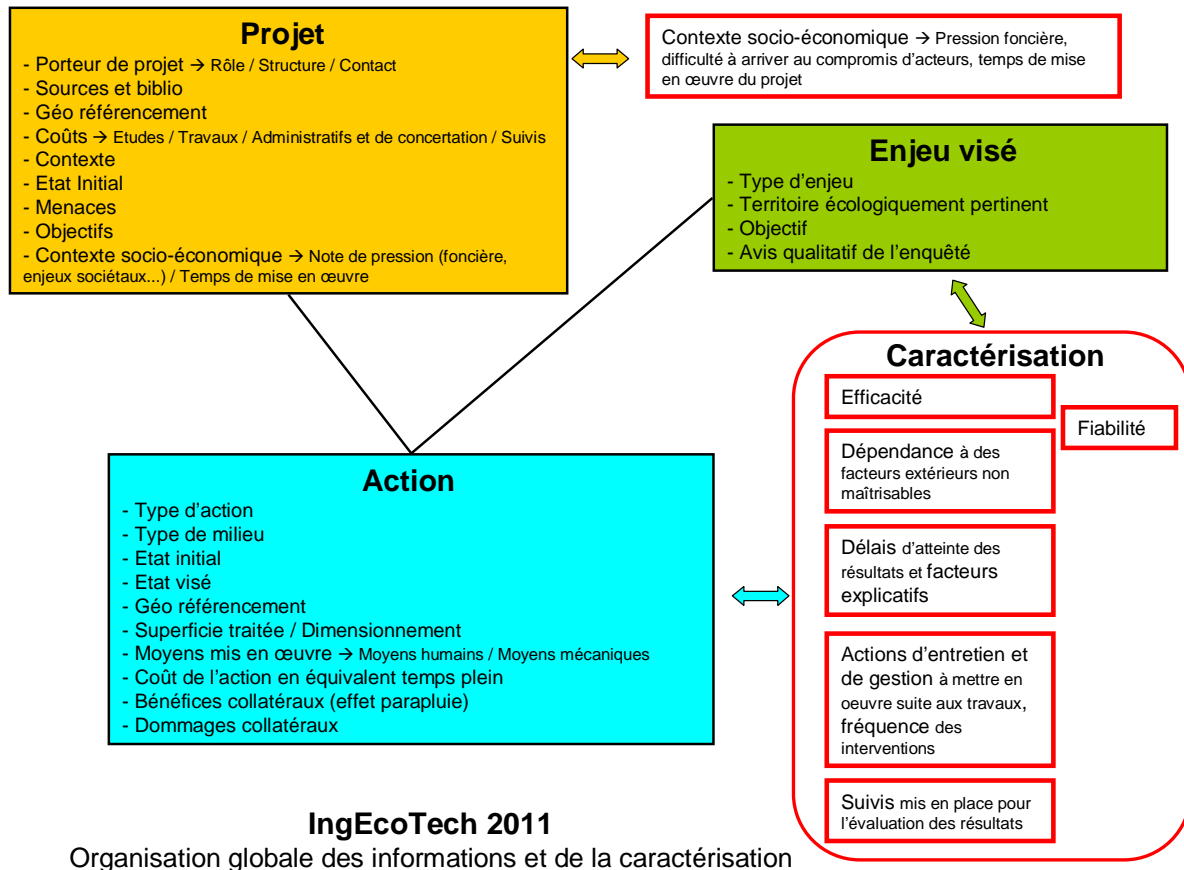


Figure 6 : La structure globale de la base de données. La base de données est organisée autour de trois entrées principales : les projets, les enjeux et les actions. Elles sont caractérisées par différents indicateurs à chaque niveau.

La notion d'efficacité : quelle est la probabilité de succès liée au choix d'une technique ?

La première question que l'on se pose suite à la mise en œuvre d'une action sur le terrain concerne le succès ou l'échec de la technique. Il est donc primordial de pouvoir très simplement et rapidement donner le degré de réussite de chaque action. Une échelle à quatre niveaux permet de situer le niveau maximal atteint, à un temps t donné. Elle est complétée par un champ de libre expression permettant d'expliquer si besoin les facteurs déterminants dans la conduite de l'action ou du projet. En voici la structure :

- Efficacité #1 : Echec
- Efficacité #2 : Objectifs partiellement atteints
- Efficacité #3 : Objectifs atteints
- Efficacité #4 : Objectifs dépassés.

Validée par le nombre de projets ayant effectué une même action, une telle échelle permettra d'associer à chaque action une probabilité de succès. Ainsi, nous pourrions être amenés à

conclure que le transfert de sol en vrac a 8 chances sur 10 de permettre de reconstituer un écosystème prairial donné, car c'est ce qui ressortirait de l'analyse de nombreux projets l'ayant testé. En conséquence, un aménageur désirant utiliser cette technique pour compenser une surface de 1ha de prairie détruite pourrait utiliser un coefficient multiplicateur justifié pour dimensionner sa mesure compensatoire (en l'occurrence, il faudrait compenser sur 1/0.8 soit 1,25 ha, sans prendre en compte d'autres facteurs de correction liés par exemple à la rareté de l'écosystème ou autre).

La question clé des délais : au bout de combien de temps peut-on espérer que l'action choisie remplisse l'objectif affiché ?

Lors de la mise en œuvre d'une action d'ingénierie écologique, il est très utile de savoir au bout de quel délai il est probable que l'action atteigne ses objectifs. Dans cette idée, nous avons relevé les délais entre la période de travaux et les différentes phases d'évaluation de chaque action. Ainsi, lorsque les renseignements sont disponibles, nous pouvons construire une courbe liant l'efficacité de l'action avec le délai d'atteinte des résultats.

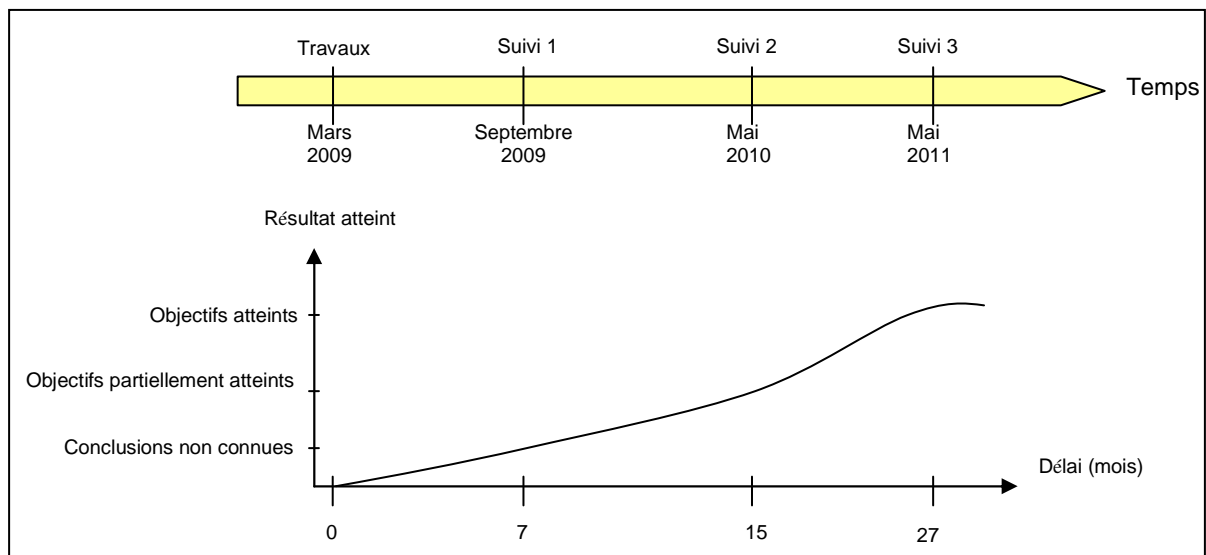


Figure 7 : Exemple de courbe liant le délai aux résultats d'une action. En connaissant la date des différents suivis effectués sur site ainsi que le résultat de leur évaluation, il est possible de construire une courbe exprimant au bout de quel délai chaque action a donné les résultats souhaités.

En moyennant différentes courbes liées à une même action qui serait mise en œuvre dans une multitude de projets, nous pourrions ainsi obtenir les ordres de grandeur des délais associés à une action donnée. Ce travail n'a pas été réalisé ici du fait de projets peu comparables car l'échantillonnage se voulait avant tout varié. Toutefois, la structure d'enquête et de retranscription des informations permet de le faire et constitue une des valeurs ajoutées de ce projet.

Pour renseigner cet indicateur, nous avons créé une échelle à sept niveaux où l'utilisateur peut indiquer les dates d'atteinte des différents paliers, ce qui permet de remonter au délai nécessaire pour remplir les objectifs. En voici la structure, à remplir au fil des suivis sur le terrain par les dates correspondantes :

- Délai #1 : Phase de travaux, de préparation →
- Délai #2 : Conclusions non connues →
- Délai #3 : Objectifs partiellement atteints →
- Délai #4 : Objectifs atteints →
- Délai #5 : Objectifs dépassés →
- Délai #6 : Echec et changement d'objectif →
- Délai #7 : Echec et abandon →

La dépendance intrinsèque liée à l'action : la technique mise en œuvre est-elle dépendante de facteurs extérieurs non maîtrisables ?

Pour aller plus avant dans la compréhension des raisons du succès ou de l'échec d'une action, il nous a paru intéressant d'en expliciter les facteurs de dépendance extérieurs. Ainsi, les éléments conditionnant la réussite d'une technique peuvent dépendre plus ou moins fortement de facteurs non maîtrisables qu'il nous appartient alors d'identifier. Prenons comme exemple le cas d'une action visant à multiplier les types d'habitats naturels proposés sur un site en reboisant par des essences arbustives adaptées une partie de zone humide. La réussite de l'action est évaluée par la survie et le développement des individus implantés. Les facteurs de dépendance identifiés dans ce projet seront d'une part liés à la concurrence avec la végétation herbacée et palustre et d'autre part relatifs au taux de saturation en eau des sols soumis à une alternance entre des assecs estivaux prononcés et des périodes d'inondation longues. Une fois ces facteurs identifiés, le degré de dépendance sera évalué grâce à l'échelle de notation ci-après.

On exclura de cette définition de la dépendance la nécessité d'intervenir suite aux travaux par des actions d'entretien, ceci faisant l'objet d'un indicateur dédié et étant maîtrisable par le porteur de projet.

L'échelle de dépendance comporte quatre niveaux :

- Dépendance #1 : dépendance majeure (la probabilité d'échec est fortement liée à des facteurs non maîtrisables)
- Dépendance #2 : dépendance forte (les éléments de réussite dépendent fortement de facteurs non maîtrisables)
- Dépendance #3 : dépendance modérée (les éléments de réussite dépendent partiellement de facteurs non maîtrisables)
- Dépendance #4 : dépendance faible (les éléments de réussite ne sont pas ou sont très peu dépendants à des facteurs extérieurs non maîtrisables).

Cet indicateur de dépendance est un des éléments à prendre en compte pour estimer le risque pris lors du choix d'une technique.

Un critère bilan : quelle est la fiabilité de l'action ?

Résumant en une seule note les notions d'efficacité et de dépendance, la fiabilité d'une action permet d'estimer rapidement la pertinence de choisir une action parmi plusieurs et le dimensionnement du projet lié. Nous l'avons définie selon la formule :

$$\text{Fiabilité} = \text{Efficacité} * \text{Dépendance.}$$

L'efficacité comme la dépendance étant comprises entre 1 et 4, la note relative à cet indicateur est donc comprise entre 1 et 16. Notons ici que le sens de notation pour le degré de dépendance (note faible pour une dépendance forte) est expliqué par le choix de la définition de la fiabilité.

En cas de dépendance multiple, nous choisirons de multiplier l'efficacité par la moyenne des notes de dépendance.

La dépendance à des actions de gestion suite aux travaux : à quelle fréquence faut-il revenir sur site pour des actions d'entretien ?

Lors du choix des techniques à mettre en œuvre, il est nécessaire de savoir si les interventions seront ponctuelles et réalisées durant la phase de travaux ou s'il sera nécessaire de revenir régulièrement sur site afin d'entretenir le milieu, de gérer son évolution pour le maintenir dans un état souhaité. Ainsi, pour chaque action, nous avons listé les actions d'entretien à réaliser par la suite, si besoin. Le degré de contrainte lié à cette gestion a été exprimé par la fréquence des interventions (pluriannuelle, annuelle, tous les 15 ans...) et leur nature (fauche, curage de fossé ...).

La prise en compte de l'environnement social : dans quelle mesure les choix techniques sont-ils sous influence du contexte socio-économique ?

Le dernier indicateur que nous proposons de formaliser permet d'intégrer aux notions techniques vues précédemment des éléments de contexte socio-économique, car celui-ci peut se révéler déterminant dans la conduite globale du projet et le choix des actions. En conséquence, trois points peuvent être explicités dans le cadre de notre synthèse de projet : la pression liée au lieu d'une part, celle liée aux enjeux sociétaux d'autre part et enfin leur traduction concrète révélée par le délai de mise en œuvre du projet. Nous considérons ici que la pression foncière et la difficulté à trouver un compromis entre acteurs impliqués, la difficulté à résoudre les conflits d'intérêts, jouent de façon significative sur le temps nécessaire pour monter et faire accepter le projet. Les deux pressions sont évaluées par une échelle de notation à quatre niveaux, comparable aux précédentes. L'échelle est présentée ici une seule fois mais donne lieu à deux notes distinctes, l'une de pression foncière et l'autre de compromis d'acteurs :

- Contexte #1 : pression faible (peu de pression foncière / compromis d'acteurs facile à atteindre)
- Contexte #2 : pression modérée (pression foncière / enjeux sociétaux non négligeables)
- Contexte #3 : pression forte (pression foncière / enjeux sociétaux importants)
- Contexte #4 : pression majeure (pression foncière / enjeux sociétaux majeurs, entraînant un délai de mise en œuvre du projet très important).

Ces indicateurs de caractérisation peuvent selon l'information disponible concerner les actions, les enjeux ou les deux. Il conviendra alors de décliner les notations selon les éléments d'information à disposition à ces deux niveaux. La notion de fiabilité de l'enjeu fera l'objet d'une discussion dans le chapitre suivant, car si les autres indicateurs peuvent facilement être transposés de l'action à l'enjeu, la fiabilité perçue de l'enjeu par le porteur de projet n'est pas toujours en corrélation avec la moyenne des fiabilités des actions qui le composent.

Une fois les projets recensés et leurs données analysées, l'objectif du projet est de proposer une présentation des informations qui en permette une exploitation aisée et pertinente.

Proposition de structure de base de données

La base de données IngEcoTech a été conçue comme une base de données relationnelle qui permet de consulter les informations selon des entrées très diverses. La richesse des informations recueillies lors des entretiens conduit à une structure de base de données complexe, avec de multiples tables (33 exactement) liées entre elles. La figure 8 représente de façon schématique la version actualisée de la base, version qui pourra être amenée à évoluer légèrement avant validation par l'équipe projet, mais dont l'essence est représentée ici.

Une structure en quatre blocs principaux

Toute la base de données est centrée sur quatre entrées principales, qui reprennent la structuration initiale des projets. Ces blocs sont constitués de plusieurs tables liées entre elles. On trouvera ainsi :

- Un bloc centré sur le projet dans sa globalité, ses caractéristiques générales, le contexte global etc. Ce bloc, représenté en orange dans la figure 8, est complété par une table dédiée au porteur de projet (en rose).
- Un bloc basé sur les enjeux spécifiques poursuivis par le projet, leur objectif, le type d'enjeu auquel ils s'apparentent... Ce bloc est représenté en vert sur la figure 8.
- Un bloc qui s'intéresse aux actions mises en œuvre, aux moyens humains et mécaniques nécessaires, au type de milieu concerné... Ce bloc est figuré en bleu sur la figure 8.
- Un bloc permettant la caractérisation de l'action ou de l'enjeu, par projet. En rouge sur la figure 8, ce bloc reprend les critères de caractérisation définis plus tôt et permet une lecture synthétique des informations liées à chaque action ou enjeu.

La figure 8 ci-dessous schématise la structure de base de données utilisée.

Une base de données pour la restauration de milieux naturels

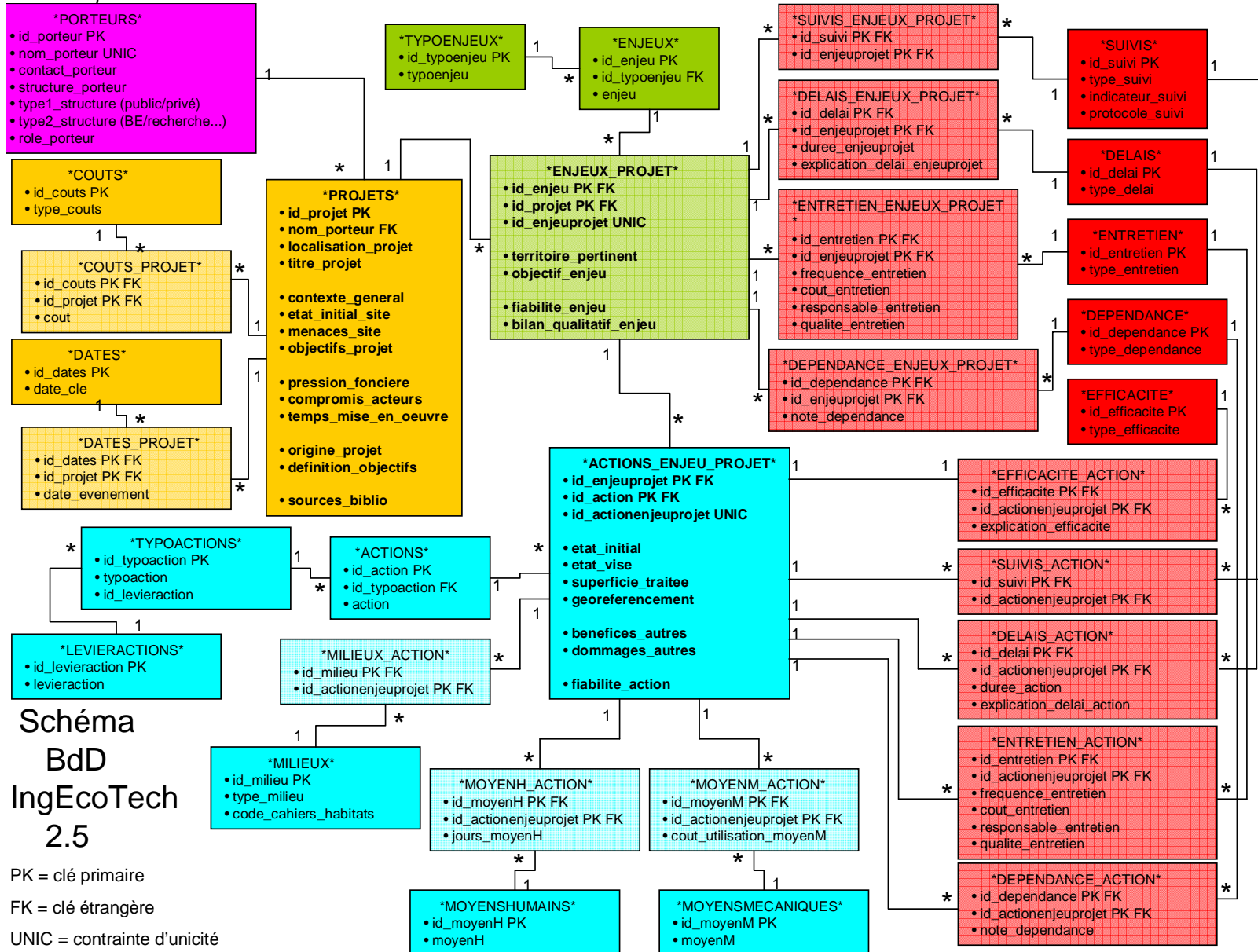


Figure 8 : Représentation schématique de la structure de la base de données IngEcoTech et du contenu de ses tables. Chaque bloc de couleur est lié à une entrée principale de la table : en orange pour les données liées au projet, en vert pour celles liées aux enjeux, en bleu pour les informations spécifiques aux actions et en rouge pour les données de caractérisation enjeu et projet.

Un besoin de synthétiser l'information

L'intérêt de la base de données est de permettre d'extraire rapidement des informations structurées sur un projet, un enjeu ou une action. Dans cette optique, il nous a paru opportun de limiter les possibilités d'entrer librement des descriptions ou explications, et de favoriser le choix d'une ou plusieurs entrées parmi des typologies préalablement établies. Cette volonté de formaliser les choix possibles doit bien sûr prendre ici en compte la non exhaustivité des cas recensés et doit donc pouvoir être enrichie ultérieurement selon les besoins de chacun. Des tables génériques de typologie ont été créées, elles contiennent la liste des différentes possibilités offertes par entrée (entrée « coûts », entrée « dates clés du projet »...). Ainsi la table *TYPOACTIONS* permet de rechercher un type d'action (ex : gestion des niveaux d'eaux) plutôt que des actions précises (ex : pose d'un moine hydraulique, création de seuils) qui renverront directement à la typologie proposée.

Des tables de jointures sont nécessaires pour faire le lien entre les tables de typologie et les tables principales. Leur nom fait apparaître les deux tables initiales : la table *DATES_PROJET* permet ainsi de lier la table *DATES* listant les différentes dates clés relatives à la mise en œuvre d'un projet et la table *PROJETS* décrivant le projet en question.

La retranscription d'une organisation en arborescence

Une des raisons de la complexité de la base de données vient du fait qu'elle traduit une organisation de projet en arborescence. En effet, chaque projet, lié à un porteur de projet, veut répondre à différents enjeux, et chaque enjeu est mis en œuvre par différentes actions. Les mêmes actions peuvent être utilisées pour servir différents enjeux, et des projets différents peuvent avoir les mêmes enjeux. Le schéma de la figure 9 illustre cette idée.

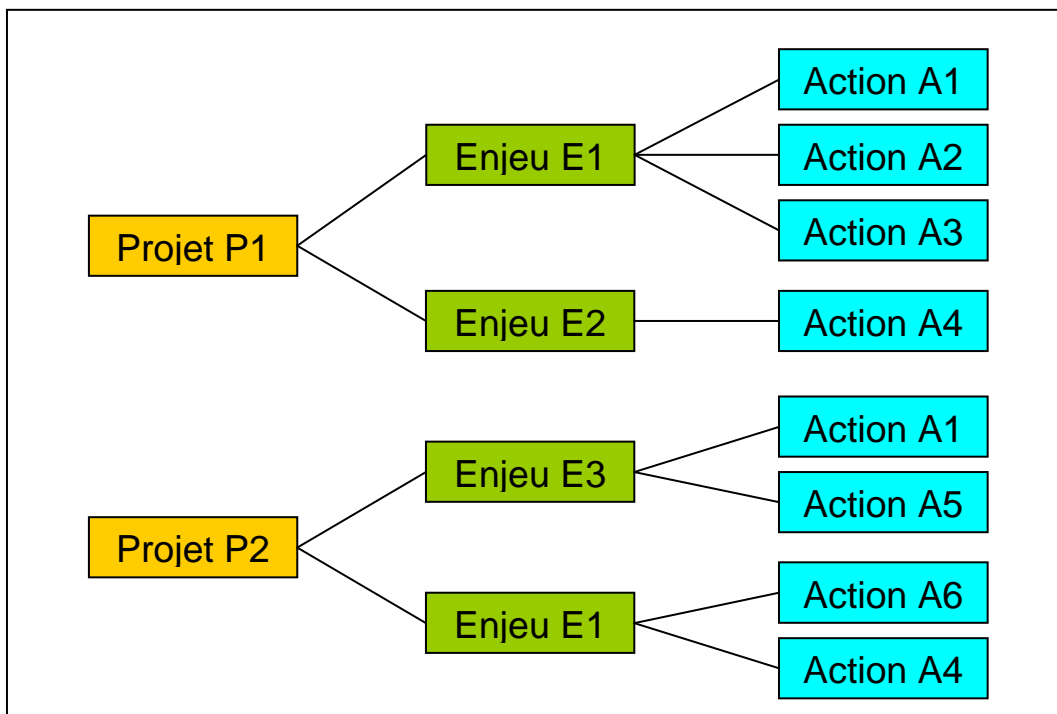


Figure 9 : Représentation de l'arborescence à intégrer dans la base de données. Chaque projet P concerne un ou plusieurs enjeux E mis en œuvre par différentes actions A.

Chaque action doit dès lors être vue comme l'action A_i répondant à l'enjeu E_i dans le projet P_i . Sinon, il n'aurait pas été possible de caractériser chaque action contextualisée, et toutes les créations de mares par exemple se seraient vues attribuer les mêmes notes. Ici, nous pouvons indiquer que l'action « création de mare » répondant à l'enjeu « espèce animale triton crêté » dans le cadre du projet de « compensation des impacts d'un tronçon autoroutier vers Sisteron » a atteint ses objectifs dans un délai de 3 ans et a une fiabilité évaluée à 7/10. La même action dans un autre projet peut ne pas avoir les mêmes caractéristiques.

Cette vision implique la création d'identifiants précis dans les tables de la base de données : chaque action est ainsi spécifiquement nommée par un identifiant `id_actionenjeuprojet` permettant de remonter l'arborescence entière, par concaténation du numéro de projet, d'enjeu et d'action. C'est cet identifiant qui nous permettrait dans l'exemple figuré ci-dessus de faire la différence entre l'action A4 liée à l'enjeu E1 du projet P2 (`id = 214`) et cette même action A4 utilisée pour l'enjeu E2 dans le projet P1 (`id = 124`). Cette formulation conditionne les jointures entre tables et permet de retrouver les informations pertinentes lors des requêtes.

A quelles informations peut-on accéder grâce à la base de données ?

La création d'une base de données par un logiciel tel que PostgreSQL nous a permis d'écrire des requêtes qui croisent les informations rentrées pour les présenter sous un format choisi. Ainsi, il est possible de consulter les informations disponibles au sujet d'un projet donné (durée, succès, etc.), ou de se renseigner sur les actions déjà mises en œuvre dans le cadre d'un enjeu qui nous intéresse (par exemple, quelles sont les actions possibles au bénéfice des amphibiens ?). Une telle requête permettra un aperçu des expériences passées utile pour dresser un bilan en termes de fiabilité, délais et options possibles pour répondre à un besoin de restauration ou de réhabilitation. La base de données permet également de déterminer les causes connues d'échec ou de succès de méthodes, par le biais de leur efficacité, de leur degré de dépendance à des facteurs extérieurs non maîtrisables ou encore par les mesures d'entretien nécessaires à leur réussite. On y trouvera également les bases d'une analyse économique des projets, avec les coûts réels des différentes phases du projet (étude, travaux, suivis...) ainsi que les moyens humains et mécaniques déployés lors de la mise en œuvre concrète des actions.

Au terme du stage, l'interface de requête est une invite de commande nécessitant le codage en langage 'sql'. A terme, il serait envisageable de produire une structure accessible à tout utilisateur, qui permette de saisir rapidement les différents champs relatifs aux questions posées et renvoyant les réponses dans un format adapté ainsi que des liens vers les documents disponibles à la consultation par projets et enjeux.

IV. Discussion

Nous nous intéresserons ici à discuter les aspects techniques liés à la mise en œuvre du projet d'une part, et les aspects contextuels et globaux d'autre part, ce qui nous permettra de resituer le projet IngEcoTech dans son cadre scientifique et politique. Nous n'aborderons pas les points concernant les subtilités de langage de programmation en 'sql' qui empêchent aujourd'hui l'optimisation de la base de données telle qu'elle a été construite mais qui n'ont pas d'incidence majeure sur sa capacité à démontrer l'utilité d'un tel outil ou à répondre aux requêtes qui lui sont soumises.

D'un point de vue technique, quelle est la validité de la démarche mise en œuvre et quels sont les points à valider ?

Une démarche réellement basée sur les dires d'experts ?

Le choix de construire le projet IngEcoTech sur des cas réels d'ingénierie écologique permet d'ancrer le formalisme et la structuration des informations dans un cadre incluant à la fois les données effectivement connues des porteurs de projet et les besoins exprimés en termes de caractérisation des actions menées.

La qualité de l'information retranscrite dépend essentiellement de l'appréciation de l'enquêté et de la qualité de l'échange d'informations lors de l'entretien. L'enquêté est alors notre référent pour délivrer les données factuelles (suivis) et subjectives (avis qualitatif) permettant de conclure sur l'efficacité des méthodes, les facteurs de réussite ou d'échec etc. La méthodologie choisie est donc une consultation d'avis d'experts.

Or, les porteurs de projets enquêtés ont été choisis pour leur vision globale du projet mais il est possible qu'ils manquent parfois de données ou de recul pour apprécier l'atteinte de l'objectif écologique. En conséquence, les renseignements caractérisant les actions et enjeux sont à nuancer et leur validité sera assurée par la multiplicité des projets liés qui seront renseignés suivant le formalisme proposé par ce travail.

Les échelles de notation sont-elles pertinentes pour caractériser une action ou un enjeu ?

Au moment de caractériser la réussite d'une méthode ainsi que ses causes, différentes options sont envisageables. Les critères de choix principaux sont liés à la simplicité de l'évaluation ainsi qu'à son caractère discriminant et reproductible. De plus, elles doivent permettre le dimensionnement des projets à venir. Faut-il dès lors opter pour des échelles qualitatives ou quantitatives, et à combien de niveaux ?

Nous avons fait le choix d'échelles semi-quantitatives (notes de 1 à X) car elles permettent les opérations entre indicateurs et leur manipulation facile dans un cadre numérique (moyenne, écart-type etc). Ceci autorise de plus à utiliser ces notes pour construire d'éventuels coefficients de correction pour prendre en compte délais et fiabilité dans le dimensionnement d'actions de compensation à venir.

Le nombre de niveaux possibles par réponse a été déterminé initialement à partir d'une échelle à dix niveaux (note de 1 à 10), que des lectures comparées de projets par deux évaluateurs ont permis de ramener à quatre niveaux (note de 1 à 4). En effet, la variabilité des réponses augmente avec la latitude des possibles, et la réflexion de chacun ramenait de fait

l'évaluation à un nombre restreint de possibilités. En conséquence, la pression foncière, la qualité des actions d'entretien et l'efficacité des actions, entre autres, seront caractérisées par cette échelle à quatre niveaux.

Il faudrait à présent tester le biais inter-évaluateur sur un nombre plus important de projets, et avec des évaluateurs différents et non impliqués dans la création des échelles, afin de tester leur pertinence et leur reproductibilité. De même, cela permettrait de juger de la nécessité d'explicitier les échelles par des exemples illustrant les différents niveaux de notation proposés.

Un autre point majeur à prendre en compte est lié à la sensibilité des échelles proposées. La distinction qui est faite entre deux niveaux d'une échelle qui en comporte quatre est en effet très conséquente. Évaluer le degré de dépendance d'une action à 2/4 ou 3/4 a en effet des conséquences importantes sur la capacité à déterminer les raisons de l'échec ou de la réussite de cette action. Sur une échelle à dix niveaux, un écart d'une unité se révélerait moins lourd à considérer. La sensibilité de l'évaluation prend un poids encore plus important dès lors que l'on manipule les indicateurs entre eux. Ainsi, la fiabilité, qui résulte de la multiplication des notes d'efficacité et du degré de dépendance, varie très fortement pour un écart de notation faible sur un des indicateurs initiaux (on passe par exemple d'une note de 9/16 à 6/16 pour la fiabilité d'une action de degré de dépendance 3/4 et d'efficacité 3/4 puis 2/4). Il pourrait donc être pertinent de ramener les notes de fiabilité sur une échelle plus restreinte, afin en faciliter la compréhension et de limiter la sensibilité de l'évaluation. Quoiqu'il en soit, une évaluation précise de la sensibilité de ces calculs semble nécessaire avant de généraliser un outil tel que celui-ci.

Notons ici que les notions de pression foncière et de compromis d'acteur servant à évaluer le contexte socio-économique sont des concepts qui ont été ajoutés plus récemment dans la base de données, au fil de l'évolution de notre réflexion. En conséquence, en vue d'analyses plus poussées ultérieures, il serait opportun de valider précisément ces données qui reflètent néanmoins les explications fournies lors de l'entretien. Il apparaît bien entendu essentiel qu'elles figurent dans une version plus aboutie de la base de données, afin d'alimenter la réflexion des opérateurs de la compensation.

Les typologies : regrouper l'information sans trop la diluer

La structure de la base de données nécessite de regrouper les informations précises en groupes plus généraux appelés typologies. Ainsi, les actions individuelles (ex : transfert de sol en vrac) sont regroupées en typologies d'action (ex : transfert de sol), qui correspondent chacune à un levier d'action (ex : sol) répondant à des enjeux, correspondant eux-mêmes à des types d'enjeux donnés. Il a donc fallu établir la liste des différentes typologies et fixer les catégories et les entités qui y sont reliées. Le choix des regroupements a été basé sur des critères simples de ressemblance pour éviter une trop forte redondance sans pour autant perdre du sens.

La question de la précision des informations données à chaque niveau se pose donc et n'a pas complètement été tranchée ici. Par exemple, doit-on parler de l'action de « réimplantation de cytise nain sur un site écologiquement favorable », de « réimplantation de cytise sur un site écologiquement favorable » (donc potentiellement l'action concerne d'autres espèces de cytises) ou encore de « réimplantation végétale sur un site écologiquement favorable » (donc potentiellement l'action peut s'appliquer à la réimplantation de primevères, de feuillus etc.) ? Selon les projets, les degrés de précision au niveau des actions pourront varier car nous

n'avons pas encore établi de règle de décision générale. Les différents niveaux supérieurs ont par contre été délimités et définis clairement.

Une discussion avec le pôle régional « Gestion des milieux naturels » du Conservatoire des Espaces Naturels de Rhône-Alpes, parallèlement engagé dans une démarche similaire, a permis de discuter et d'ajuster certaines classifications. Ces typologies gagneraient toutefois à être validées par des praticiens et experts qui seraient plus à même d'en cerner les défauts et manques. Cette étape s'inscrirait dans une phase de concertation avec les acteurs de la compensation et de la restauration qui aura lieu suite au stage.

Quelques réflexions sur la notion de fiabilité

Nous avons choisi de définir cet indicateur comme étant le produit de l'efficacité et de la dépendance. Il est possible qu'une action dépende de multiples facteurs extérieurs, et à des degrés différents, en dépendant par exemple fortement de la pression cynégétique (abrutissement) mais modérément de la pluviométrie. Dans ce cas, la formule devient $\text{Fiabilité} = \text{Efficacité} * \text{Moyenne des dépendances}$, arrondie à l'entier le plus proche. Toutefois, ne faudrait-il pas plutôt choisir la note liée au facteur de dépendance le plus fort, qui peut agir comme un élément limitant sur la réussite de l'action ? Nous pourrions ainsi décider de négliger la faible dépendance à tel facteur, sachant que la réussite de l'action est surtout conditionnée à un autre facteur dont elle dépend très fortement.

D'autre part, il faut être conscient qu'une même note de fiabilité peut correspondre à des réalités différentes. Prenons l'exemple d'une action dont la fiabilité est estimée à 4/16. Cette note peut refléter deux situations. Dans la première, l'action a échoué, son efficacité est donc de 1/4, mais aucun facteur de dépendance n'a été identifié, la note de dépendance étant donc de 4/4 (note forte pour une dépendance faible). L'échec peut en effet être lié à un défaut dans la mise en œuvre des actions d'entretien (des pratiques culturales non adaptées par exemple dans le cadre d'implantation de messicoles). Dans la seconde, l'action n'a atteint que partiellement les résultats escomptés pour le moment, ce qui correspond à une note d'efficacité de 2/4, mais se révèle très dépendante de la concurrence avec la végétation herbacée, à un degré estimé à 2/4. Dans les deux cas, la fiabilité de l'action sera estimée à 4/16, bien que correspondant soit à un échec soit à une réussite partielle.

Toutefois, le fait de ne pas contraindre la note de fiabilité à être nulle en cas d'échec permet de révéler que sa cause aurait pu être maîtrisée puisque non dépendante de facteurs extérieurs indépendants, et que c'est donc ailleurs qu'il faut chercher les causes réelles de cet échec.

Enfin, pour transposer la fiabilité du niveau de l'action à celui de l'enjeu, deux options sont possibles. Nous pouvons en effet considérer que la fiabilité de l'enjeu est la moyenne des fiabilités des actions qui le composent, ou alors que cette fiabilité enjeu est celle estimée par le porteur de projet, qui se prononce sur la réussite globale dans le contexte général du projet plutôt que sur la somme des actions individuelles. Notons que si le porteur de projet n'a pas donné de note à l'enjeu, l'évaluateur s'est chargé de transformer le bilan qualitatif donné par le porteur en une note, ce qui représente un biais potentiel. La première définition sera nommée ici solution arithmétique et l'autre solution subjective. Ces deux formules donnent des résultats différents. Une première analyse rapide tend à montrer que les notes de la solution subjective sont plus élevées que celles données par la solution arithmétique. Cette tendance à juger plus favorablement la globalité que la somme des actions peut être liée à la possible synergie entre actions, qui auraient alors un effet combiné favorable. Il est d'autre part possible que les porteurs de projets soient plus enclins à favoriser la réussite de l'enjeu,

car si le résultat des actions est facile à mesurer et dépend souvent de facteurs techniques, la réussite de l'enjeu est liée à la mise en œuvre des actions par un jeu d'acteurs multiples, avec des pressions de réussite externes et des objectifs moins évidents à définir et à évaluer. Dans le cadre de la version de démonstration de la base de données, c'est la solution subjective que nous avons décidé de renseigner, car c'est celle qui paraît retranscrire le plus fidèlement la perception réelle de l'action.

Notons ici que cette définition de la fiabilité, au niveau de l'action comme de l'enjeu, ne fait pas intervenir de notion temporelle. En effet, il aurait été possible d'y inclure la rapidité avec laquelle l'action a permis d'atteindre ses objectifs, grâce à l'indicateur de délai d'atteinte des résultats. Le risque aurait alors été de favoriser les actions à résultat rapide et réponse écologique à court terme, au détriment d'autres actions peut-être moins interventionnistes ou moins coûteuses mais efficaces sur un pas de temps plus conséquent. L'utilisateur trouvera dans la base de données la caractérisation temporelle des actions et enjeux, mais sans que l'information soit reliée au critère de fiabilité.

Comment se situe l'outil IngEcoTech dans le contexte scientifique et politique actuel ?

Les guides méthodologiques : un retour d'expérience et un moyen de diffusion des techniques

Les projets de restauration de milieux dégradés se sont multipliés ces dernières décennies, mais le constat partagé aujourd'hui montre que les retours d'expériences et analyses critiques de ce qui a été réalisé sont trop rares, peu diffusés ou ne diffusent que trop peu les gains potentiels des techniques présentées. Par manque de recul, faute de financements ou du fait d'une mauvaise définition des objectifs des suivis et de leurs indicateurs, l'efficacité des techniques d'ingénierie écologique mises en œuvre par le passé est aujourd'hui difficilement évaluable. La multiplication et l'ampleur des projets, leur coût important et le renforcement des obligations légales conduisent pourtant à une demande de la société quant à l'évaluation du succès des restaurations écologiques (Cristofoli et Mahy, 2010).

Dans l'optique de diffuser des résultats issus d'expériences passées, les guides méthodologiques représentent une solution intéressante. Prenons comme premier exemple la collaboration entre chercheurs et gestionnaires de mines de charbon américains qui a permis la création d'un guide pour la restauration forestière sur d'anciens sites exploités (*Forestry Reclamation Approach*). En réponse à la pauvreté des écosystèmes habituellement recréés à la suite de l'abandon des sites d'exploitation du charbon, des recherches et expérimentations menées sur des dizaines d'années ont conduit à la publication d'un guide méthodologique en cinq étapes permettant la restauration d'un couvert forestier en cohérence avec l'état initial et le paysage écologique alentours. Cette méthode a largement fait ses preuves et est aujourd'hui utilisée en routine, on compte déjà des milliers d'hectares miniers replantés d'essences natives et fournissant les biens et services liés aux écosystèmes forestiers locaux (Zipper et al., 2011). Ce type de guide permet de faciliter la tâche aux responsables d'impacts ayant le devoir de compenser ou de restaurer les effets négatifs de leurs projets, en proposant des solutions alternatives, réellement favorables à la biodiversité et dont la fiabilité a été éprouvée. En France, de telles initiatives, jusqu'ici timides, commencent à se multiplier. Citons ainsi le manuel édité par le Ministère de l'Environnement en 2008 « Le génie végétal, manuel technique au service de l'aménagement et de la restauration des milieux aquatiques » (MEEDDAT, 2008). Ce recueil de techniques basées sur le génie végétal est destiné à tous les aménageurs et techniciens, et présente de façon utilisable les données issues de retours

d'expériences. De même, les Conservatoires d'Espaces Naturels de Rhône-Alpes publient régulièrement des « Cahiers techniques » thématiques, ciblés sur un habitat ou une espèce (« Habitats de reproduction du tétras-lyre », ou encore « Tourbières alcalines à liparis de Loesel ») et donnent les clés essentielles de compréhension des enjeux spécifiques à la cible, ainsi que les techniques utilisables pour la favoriser. Dans cette optique, et s'appuyant également sur des cas concrets, la fédération des Conservatoires Régionaux d'Espaces Naturels a mis à profit un programme LIFE sur la protection des pelouses sèches relictuelles de France pour éditer en 2002 un « Recueil d'expériences de gestion et de suivi scientifique sur pelouses sèches ». Ces guides spécialisés visent un public bien spécifique de connaisseurs, techniciens et/ou naturalistes. Balayant un spectre plus large de milieux, le Conservatoire des Sites Naturels du Nord et du Pas-de-Calais diffuse depuis 2003 un « Recueil sur la renaturation d'espaces », reprenant l'ensemble des initiatives du département dans un but de vulgarisation. Enfin citons ici l'Atelier Technique des Espaces Naturels, groupement d'intérêt public qui réunit dix-neuf organismes responsables de la gestion de la nature et de la protection de la biodiversité en France. Il met à la disposition du grand public comme des experts une documentation abondante et variée, allant de la revue de presse au cahier technique spécialisé, ainsi qu'une base de données permettant la recherche des documents par mots-clés.

Ces documents représentent un réel atout pour la mise en œuvre de nouveaux projets de restauration, en étayant les choix techniques du porteur de projet par des retours d'expériences analysés. Leur principale limite tient au fait qu'ils ne permettent pas forcément d'anticiper les gains écologiques qu'on peut espérer par la mise en œuvre des techniques qu'ils présentent. En effet, rappelons ici que la compensation des pertes écologiques liées aux impacts d'un projet permet d'atteindre l'équivalence écologique grâce aux gains engendrés par les mesures de restauration ou réhabilitation mises en œuvre. Tout l'enjeu est donc de pouvoir prédire les gains potentiels de chaque technique avant d'avoir à la mettre en œuvre. De plus, les guides méthodologiques n'incluent pas toujours d'informations sur les délais d'atteinte des résultats, ni sur l'incertitude quant à la probabilité de succès. En conséquence, si la présentation des expériences passées est un réel atout pour le porteur d'un projet à venir, l'absence fréquente de données sur la fiabilité des techniques, leurs dépendances à divers facteurs extérieurs et le calendrier auquel il faut s'attendre avant résultats représente un manque majeur pour la prise de décision. La base de données IngEcoTech s'inspire de leur principe en leur ajoutant des critères d'aide à la décision dans le choix et le dimensionnement des techniques.

Un outil technique tel qu'a été conçue la base de données IngEcoTech et la proposition de structuration de l'information qui la caractérise ont vocation à être diffusés et utilisés par de nombreux acteurs issus de structures aux enjeux différents, afin que le nombre et la richesse des projets renseignés permettent un retour d'expérience avisé et exploitable. Toutefois, son utilisation est influencée par le contexte scientifique et politique actuel, et il convient de réfléchir ici aux limites et modifications qui l'attendent.

Une démarche de contribution volontaire pour assurer la qualité des informations ?

Dans un monde dénué de contraintes économiques ou réglementaires, la meilleure façon de permettre le renseignement de la base de données que nous avons créée consisterait en une contribution volontaire des porteurs de projets sur une interface en libre accès. La bonne foi des contributeurs serait alors le gage de la qualité des informations.

Toutefois, on peut douter que des opérations infructueuses soient saisies dans la base de données ou que toutes les causes d'échec soient détaillées. En effet, un interlocuteur intéressé par la mise en œuvre de ce type d'action aura plus tendance à se rapprocher d'un opérateur l'ayant mis en œuvre avec succès plutôt que d'un concurrent avec un taux de réussite moindre. Dans le même esprit, un aménageur dont les actions compensatoires n'auraient pas porté leurs fruits risque de ne pas être totalement transparent en contexte de risque de sanction pour non-conformité avec l'étude d'impact.

En conséquence, il ne paraît pas judicieux de placer la base de données en contribution et consultation publiques sans y exercer de contrôle de l'information.

Une solution pour éviter le détournement de l'outil en support de publicité gratuit et incontrôlé pourrait obliger à l'anonymat des contributeurs. Mais une telle option paraît peu convaincante car les projets de restauration de milieux naturels ne sont pas à ce point abondants qu'il ne soit pas possible d'en retrouver la trace et les acteurs par une simple recherche sur internet.

Comment faire vivre l'outil ?

Le cadre législatif en France est en train de devenir plus exigeant envers les aménageurs, comme illustré en 2010 par la réforme de la loi sur les études d'impacts qui oblige aux suivis de la mise en œuvre de la compensation, et prévoit également les sanctions encourues en cas de non-conformité des réalisations avec les engagements. Cette attention particulière portée sur le champ environnemental nécessite une implication réelle des services instructeurs ainsi que le développement d'outils permettant la conception, l'autorisation, le suivi et l'évaluation des projets concernés.

Dans un contexte de pression économique et réglementaire, deux options convaincantes semblent dès lors exister pour valoriser la base de données.

La première consiste en une utilisation interne de l'outil au sein de chacune des structures des porteurs de projets. Celles-ci bénéficieraient de la facilité d'accès aux données de leurs différents projets et du formalisme permettant de gagner du temps dans leur conception et valorisation. La mutualisation des connaissances entre entités serait favorisée par une structuration commune des informations. Elle permettrait de communiquer à propos de certaines données ou enjeux sans forcément divulguer de renseignements confidentiels comme les coûts réels.

La seconde utilisation potentielle de l'outil se tiendrait dans un cadre institutionnel contrôlé. En effet, les Directions Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) sont responsables des dossiers de demande de dérogation pour les projets ayant un impact négatif sur des espèces protégées ou des milieux particuliers ainsi que des études d'impacts. Ces structures pourraient inciter les porteurs de projet à leur fournir des dossiers structurés selon un modèle type reprenant l'ensemble des points à aborder, comme le propose l'outil IngEcoTech. Une telle solution représente un avantage à la fois pour les DREAL qui n'auraient à traiter que des dossiers standardisés avec des informations présentées de la même façon, et pour les porteurs de projet qui bénéficieraient d'une grille de présentation synthétisant les différents aspects de leur projet. Par la suite, il est possible d'envisager que cette grille d'analyse soit complétée par les résultats des projets, et que les informations ainsi validées soient mises à disposition pour consultation. Il serait alors absolument nécessaire que les résultats soient contrôlés par des services de l'État ou indépendants des porteurs de projet,

afin que l'évaluation des critères de caractérisation des enjeux et actions soit crédible, comme va l'exiger l'obligation d'organiser le suivi des mesures compensatoires à l'avenir.

L'outil IngEcoTech représente donc une économie à faire dans les coûts de transaction entre acteurs. L'intérêt d'un tel outil est confirmé par la récente mise en place d'un système d'échange national des données des études d'impact au travers du site gouvernemental « Tout sur l'Environnement, l'information publique environnementale » qu'on pourra consulter à cette adresse : <http://www.toutsurlenvironnement.fr/> . Créé à la suite du Grenelle de l'Environnement et géré par le Ministère de l'Environnement, du Développement Durable, des Transports et du Logement, ce site a pour vocation « d'orienter vers les informations, documents et données portant sur l'environnement, disponibles gratuitement sur les sites et portails publics existants ». L'interface de type base de données paraît donc adaptée et pertinente dans le contexte actuel et son utilisation possible au sein des services institutionnels d'une part et des porteurs de projets publics, associatifs et privés d'autre part.

Un outil au service des décideurs

Si l'outil que nous proposons permet d'éclairer les choix techniques à prendre pour répondre à un enjeu ou décider du bien fondé d'un projet, il convient de garder en tête que le processus décisionnel est complexe et sous influences multiples. La composante politique des arbitrages joue souvent un rôle important dans la conduite de projet et les jeux d'influence des acteurs y sont prépondérants. En conséquence, il n'y a pas toujours de réponse technique aux discussions qui entourent les projets, dont les orientations sont alors décidées par compromis d'acteurs. Les outils techniques peuvent alors servir d'arguments aux divers camps d'influence qui les utiliseront à plus ou moins bon escient. La conception de l'outil méthodologique et de la base de données doit dès lors être suffisamment transparente et neutre pour conserver un rôle d'information valable et pertinent qui limite les risques de détournements à des fins politiciennes ou économiques.

V. Conclusion et perspectives

« Much of current conservation practice is based upon anecdote and myth rather than upon the systematic appraisal of the evidence, including experience of others who have tackled the same problem. We suggest that this is a major problem for conservationists and requires a rethinking of the manner in which conservation operates. » Sutherland, 2004

De la même manière que la médecine à la fin du XX^{ème} siècle, l'ingénierie écologique s'engage aujourd'hui dans une démarche de mise à profit des expériences pour valider ses décisions techniques, jusqu'ici trop peu souvent confrontées aux résultats passés (Sutherland, 2004). Le projet IngEcoTech dans lequel s'est inscrit ce stage va dans le sens de la mutualisation éclairée des connaissances, en proposant une structuration des informations et une caractérisation des actions mises en place. Cette démarche n'est pas isolée, comme le prouve la création du centre britannique pour l'« Evidence-based Conservation », créé en 2003, et dont le but est d'accompagner le processus décisionnel dans les projets touchant à la protection de l'environnement au sens large par une synthèse documentée de cas passés. D'autres devraient suivre.

Pendant le stage, des renseignements issus d'une enquête de terrain sur des projets de restauration de milieux naturels au sens large ont donc permis la structuration de l'information et sa mise à disposition au travers d'une interface de type base de données relationnelle. La démarche de structuration de l'information que nous avons construite a maintenant vocation à être diffusée afin d'être validée dans un premier temps par les acteurs de l'ingénierie écologique et de la compensation, puis dans un second temps de les servir dans la mise en œuvre concrète des projets de restauration de milieux naturels.

Différentes pistes sont à ce jour évoquées pour valoriser ce travail ; il pourrait intéresser notamment l'Observatoire National de la Biodiversité au travers de son Système d'Information sur la Nature et le Paysage qui s'appuie sur une bancarisation officielle de données environnementales. Les DREAL comme nous l'avons vu plus haut pourraient aussi être des partenaires de premier plan pour mettre en œuvre la démarche, tout comme l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques. Différentes réunions sont prévues cet automne avec les partenaires institutionnels, publics et privés sur la doctrine Éviter-Réduire-Compenser ou encore sur les modalités de dérogation à l'interdiction d'impacts sur les espèces protégées. Ces rencontres seront l'occasion de présenter notre travail, parmi d'autres, de l'enrichir par les discussions avec les acteurs concernés et enfin de favoriser son appropriation et utilisation.

La multiplication des projets de restauration de milieux naturels, l'exigence réglementaire croissante en matière environnementale et la prise en compte progressive par la société de la valeur de la biodiversité au sens large créent donc une demande de méthodologie pour les projets à venir et d'expertise pour les expériences passées. Notre travail contribue à y répondre et devrait donc trouver sa place auprès des experts et praticiens de l'ingénierie écologique comme des partenaires institutionnels publics.

VI. Bibliographie

Outre les textes officiels mentionnés dans le texte, on pourra consulter les documents suivants cités dans le rapport :

Adam P, Debiais N, Gerber F, Lachat B 2008 Le génie végétal, un manuel technique au service de l'aménagement et de la restauration des milieux aquatiques. *La Documentation Française, Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire*, 290 pp.

Barot S, Lata JC, Lacroix G 2011 Meeting the relational challenge of ecological engineering within ecological sciences. *Ecological Engineering*, doi:10.1016/j.ecoleng.2011.04.006, 11 pp, in press.

Bodin-Darasse B et Wallenberger M 2010, L'ingénierie écologique, définition, enjeux et perspectives. *FRB, SciencesPO.*, 39 pp.

Chevassus-au-Louis B 2009 L'approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes. *Rapports et Documents du Centre d'Analyse Stratégique, La Documentation Française*, 18, 399 pp.

Clewell AF et Aronson J 2010 La restauration écologique. *Actes Sud*, 340pp.

Collectif 2010 Manifeste de l'ingénierie écologique. *Séminaire de Royaumont du Programme Interdisciplinaire de Recherche CNRS/Cemagref Ingecotech-Ingeco*.

Commission Européenne 2011 La biodiversité, notre assurance-vie et notre capital naturel - stratégie de l'UE à l'horizon 2020. *Communication de la Commission Européenne au Parlement Européen, au Conseil, au Comité Economique et Social Européen et au Comité des Régions, COM(2011) 244 final*.

Cristofoli S et Mahy G 2010 Restauration écologique : contexte, contraintes et indicateurs de suivi. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 14, 203-211.

Le Floc'h E et Aronson J 1995 Ecologie de la restauration : Définition de quelques concepts de base. *Natures, Sciences et Sociétés*, 3, 29-35.

Millennium Ecosystem Assessment 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. *Island Press, Washington, DC*.

Muller F et al 2002 Recueil d'expériences de gestion et de suivi scientifique sur pelouses sèches. *Espaces Naturels de France, fédération des Conservatoires d'Espaces Naturels, programme Life-Nature « Protection des pelouses relictuelles de France »*, 132 pp.

Pioch S, Hay J, Levrel H 2010 Faraway, so close : les enjeux de la marée noire DeepWater Horizon vus depuis la France. *Natures Sciences Sociétés* 18, 305-308.

Quetier F 2011 Eviter, réduire, compenser : l'évolution du contexte règlementaire de la compensation en France. *Non publié*

Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group, 2004. The SER International Primer on Ecological Restoration. www.ser.org & Tucson : Society for Ecological Restoration International.

Spychala L 2003 Recueil sur la renaturation d'espaces. *Conservatoire des Sites Naturels du Nord et du Pas de Calais*, 208 pp.

Sutherland WJ, Pullin AS, Dolman PM and Knight TM 2004 The need for evidence-based conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, 19, 305-308.

Teruti Lucas 2010 L'utilisation du territoire en 2009. *Agreste Chiffres et données - Série Agriculture*, 213.

Zipper CE, Burger JA, Skousen JG, Angel PN, Barton CD, Davis V, Franklin JA 2011 Restoring forest and associated ecosystem services on Appalachian coal surface mines. *Environnement Management*, 47, 751-765.

VII. Liste des abréviations

AGéBio : Association française de Génie Biologique pour le contrôle de l'érosion des sols

CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

GAIE : Groupe d'Application de l'Ingénierie des Ecosystèmes

IFREMER : Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer

LRE : Loi de Responsabilité Environnementale

MEEDDAT : Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire

REVER : Réseau d'Echanges et de Valorisation en Ecologie de la Restauration

SER : Society for Ecological Restoration

TEK : Traditional Ecological Knowledge

TVB : Trame Verte et Bleue

VIII. Annexes

Annexe 1 : Liste des projets

ANNEXE 1 : Liste des projets recensés pour le projet IngEcoTech

Structure	Projet
Conseil Général 73	Renaturation d'un marais d'altitude (Pontet, 73)
Syndicat Mixte d'Aménagement et d'Entretien de la Loise et la Toranche	Restauration des berges érodées de la Charpassonne (Feurs, 69)
Université de Rennes	Gestion des populations de cyanobactéries en plan d'eau à usage récréatif (Rennes, 35)
Entreprise Berlioz	Restauration de la roselière du Portout (Aix-les-bains, 73)
Université de Rennes	Restauration de la tourbière de Landemarais (Rennes, 35)
Université d'Avignon	Réhabilitation d'un habitat à oiseaux steppiques et restauration d'un habitat naturel de type coussoul (Cossure, 13)
Conservatoire Botanique National Alpin	Compensation des impacts de l'A51 sur un habitat type zone humide et quatre espèces végétales protégées (Sisteron - La Saulce, 05)
Conservatoire Botanique National Alpin	Compensation des impacts d'un détournement routier sur la Primevère du Piémont (Tignes, 73)
Conservatoire Botanique National Alpin	Compensation des impacts d'aménagements ferroviaires sur trois espèces de Cytises (26)
Conservatoire Botanique National Alpin	Compensation des impacts d'aménagements urbains sur la Tulipe Sauvage (Die, 26)
Université de Dublin	Test de traitements favorables à la biodiversité floristique en lisière de prairie (Dublin, Irlande)
Cemagref Grenoble	Restauration d'une tourbière d'altitude en station de ski (Val Thorens, 73)
Office National des Forêts	Effacement d'un chapelet d'étangs sur un ruisseau pour assurer la continuité écologique et favoriser les populations d'écrevisses à pieds blancs (Villiers-le-Duc, 21)
Ecocéan	Capture et culture de post-larves de poissons en milieu marin côtier tempéré pour le soutien aux populations (Agde, 34)
Osrose Ingénierie	Création d'habitat à oiseaux d'eau sur d'anciens bassins de décantation (Lille, 59)
SM2 solutions marines	Restauration d'herbiers de phanérogames en Méditerranée (La Grande Motte, 34)
Université de Rennes	Expansion de l'aire de répartition du flutreau nageant en marais eutrophe (Mont St-Michel, 50)
Cemagref Aix en Provence	Restauration de la trajectoire dynamique des stades dégradés de végétation forestière méditerranéenne (St-Mitre les-Remparts, 13)
Groupe Ornithologique Normand	Réaménagement d'une carrière en exploitation pour l'habitat à passereaux et pour la flore de milieux humides (Berville-Sur-Seine, 76)
Cemagref Grenoble	Contrôle de l'érosion des versants marneux du bassin de la Durance (région PACA)
Université de Bretagne	Restauration de landes et pelouses des falaises littorales atlantiques (Crozon, 29 et Belle Ile, 56)
Office Nationale de la Chasse et de la Faune Sauvage Sud Ouest	Création d'habitat à oiseaux d'eau sur d'anciens bassins de décantation (Braud-et-St-Martin, 33)
Office Nationale de la Chasse et de la Faune Sauvage Sud Ouest	Restauration d'habitat d'espèces végétales protégées de haut schorre : la Silène de Corse et la Renouée maritime (Lège Cap-Ferret, 33)
Université de Metz	Restauration d'habitat prairial en vallée alluviale de la Moselle (Marly, 57)
Office Nationale de la Chasse et de la Faune Sauvage Nantes	Restauration de pelouses dunaires insulaires envahies de ptéridaies (Ile de Béniguet, 29)