

Grand cycle de l'eau, évaluation des services écosystémiques et aménagement du territoire : un premier retour d'expérience

■ C. FEGER^{1,2}, P. CABRAL³, D. BASQUE², H. LEVREL⁴, M. CHAMBOLLE²

Mots-clés : services écosystémiques, grand cycle de l'eau, biodiversité, cartographie, modélisation, prospective, concertation

Keywords: ecosystem services, integrated water cycle management, biodiversity, mapping, modelling, scenarios, stakeholders engagement

1. Introduction : les défis du passage au grand cycle de l'eau à la lumière des services écosystémiques

Lyonnaise des Eaux (Suez Environnement depuis mars 2015) a fait de la protection de la ressource en eau et de la gestion du grand cycle de l'eau un axe stratégique prioritaire. Elle développe des métiers et des services en amont et en aval de ses activités de gestion de l'eau potable et d'assainissement, jusqu'à présent tournés essentiellement vers la disponibilité et la qualité des eaux brutes. Les enjeux du grand cycle de l'eau consistent à aller plus loin et à assurer le bon état écologique des écosystèmes terrestres et aquatiques comme le demande la directive cadre sur l'eau, à proposer des solutions pour prévenir et gérer les risques naturels, et à garantir la disponibilité et la qualité de la ressource dans un contexte de changement climatique [CAS, 2013].

Dans un ouvrage daté de 2011, l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques (Onema) caractérise

le passage du petit cycle au grand cycle de l'eau comme un défi à la fois technique et organisationnel [AMIGUES et CHEVASSUS-AU-LOUIS, 2011]. Elle identifie trois dimensions principales d'évolution de la gestion de l'eau suscitées par l'ouverture au grand cycle :

- un élargissement de l'objet de gestion qui n'est plus limité à la seule ressource en eau mais touche également les milieux vivants ;
- les techniques de prévention et de remédiation à mettre en œuvre par le développement de l'ingénierie écologique ;
- la gouvernance du monde de l'eau avec une implication plus importante des porteurs d'enjeux issus de la société civile [AMIGUES et CHEVASSUS-AU-LOUIS, 2011].

La première dimension requiert le développement de méthodes et d'outils d'évaluation adaptés aux nouveaux objets du grand cycle de l'eau et qui prennent en considération leur caractère plus complexe et moins maîtrisé. La deuxième dimension suggère un accroissement des connaissances sur les types d'ingénierie écologique les plus adaptés à ces nouveaux objets. La troisième dimension pose la question difficile des cadres organisationnels (de pensée, de dialogue et d'action) qui peuvent être utiles à la gestion collective des enjeux du grand cycle de l'eau. Ces trois défis requièrent un effort de recherche important auquel les auteurs souhaitent contribuer, notamment en expérimentant des cadres conceptuels et des outils pratiques

¹ Muséum national d'histoire naturelle – UMR 7204 – CESCO – 55, rue Buffon – 75005 Paris – France.

² LyRE – Centre de recherche Suez Environnement – 91, rue Paulin – BP9 – 33029 Bordeaux – France.

³ NOVA IMS – Universidade Nova de Lisboa – 1070-312, Lisboa – Portugal. Université de Brest, UMR AMURE – Centre de droit et d'économie de la mer – IUEM – 12, rue du Kergoat – CS 93837 – 29238 Brest cedex 3 – France.

⁴ UMR CIREN – Campus du Jardin Tropical – 45 bis, avenue de la Belle-Gabrielle – 94736 Nogent-sur-Marne cedex – France. Ifremer – UMR AMURE – Unité d'économie maritime – BP 70 – 29280 Plouzané cedex – France.

utiles pour comprendre et évaluer les articulations entre le bon fonctionnement des écosystèmes et les enjeux de gestion du grand cycle de l'eau. Il s'agit pour cela d'ouvrir des espaces de dialogue et de concertation avec la diversité des acteurs concernés par l'usage et la gestion des milieux naturels (collectivités locales, entreprises, agriculteurs et pêcheurs, associations de protection de la nature ou tout simplement la population riveraine).

L'ouvrage de l'Onema, évoqué précédemment, s'intéresse aux approches centrées sur les services rendus par la nature, les « services écologiques » ou également appelés « services écosystémiques » (ci-après désignés par « SE »). Investies depuis plusieurs années d'un effort de recherche international important, ces approches pourraient apporter des réponses aux trois défis liés à l'ouverture au grand cycle de l'eau, et plus largement, aux enjeux de conservation des écosystèmes. L'ouvrage souligne ainsi que « l'identification, la caractérisation et l'évaluation des services écologiques est une démarche à laquelle les gestionnaires de l'eau devront fréquemment faire appel à l'avenir ». Cette piste soulève de nombreuses questions. Comment évaluer les SE ? Les connaissances issues de l'évaluation des SE peuvent-elles être utiles pour la prise de décision et la gestion des milieux naturels d'un territoire ? Une telle approche représente-t-elle un support utile à des discussions collectives permettant d'aborder des questions concrètes de gestion du grand cycle de l'eau ?

Cet article vise à décrire et à présenter les premiers résultats d'une recherche en cours depuis 2012 ayant pour but de tester sur le terrain les apports possibles d'une approche centrée sur la notion de SE. Elle répond à un besoin de multiplier les études de cas, plus spécifiques au contexte français, et de tester la compatibilité et l'utilité de telles approches pour éclairer les enjeux de gestion du grand cycle de l'eau et des écosystèmes d'un territoire. Lyonnaise des Eaux a lancé cette démarche de recherche en partenariat avec des chercheurs de l'unité mixte de recherche Amure⁵. Elle s'appuie sur des outils de

modélisation et de cartographie de services rendus par les écosystèmes tout en associant les acteurs du territoire d'étude à la construction des résultats. Elle est actuellement menée en collaboration avec la communauté urbaine de Bordeaux (CUB)⁶.

2. L'approche par les « services écosystémiques » : origine, définition et actualité

2.1. Origine et évolution d'une approche qui gagne en popularité

Le concept de SE émerge à partir des années 1970, au croisement de courants de recherche en écologie et en économie [MÉRAL, 2012]. Il s'inscrit dans une approche considérant les écosystèmes comme des « systèmes de support de vie » (*life-support systems*), constitués de cycles de matières, produisant des ressources renouvelables et des services indispensables à toute vie sur terre [EHRlich et MOONEY, 1983 ; FOLKE, 1991 ; DE GROOT, 1992]. Il s'agit pour les premiers auteurs utilisant cette notion d'attirer l'attention sur l'importance de préserver la capacité des écosystèmes, de plus en plus affectés par les impacts des actions humaines, à fournir ces services indispensables au maintien du bien-être économique et social. Une telle approche représente alors une opportunité d'influencer la prise de décision à tous les niveaux en faveur d'une meilleure conservation des écosystèmes. Un programme de recherche dédié né en 1990, le Beijer Institute Biodiversity Program [GÓMEZ-BAGGETHUN *et al.*, 2009] et la publication d'articles de synthèse [DAILY, 1997 ; COSTANZA *et al.*, 1997] participent par la suite à la popularisation de cette perspective.

La publication en 2005 d'une étude internationale, le Millenium Ecosystem Assessment [MEA, 2005], issue de 4 années d'efforts de recherches collectives impliquant 95 pays et plus de 1 360 experts, a contribué à la mise à l'agenda politique de la notion de SE. Le MEA indique ainsi que 60 % des SE de la planète sont dégradés ou utilisés de manière non durable et met en lumière les conséquences importantes de cette dégradation sur le bien-être de l'homme. L'étude montre par ailleurs qu'au cours du xx^e siècle,

⁵ Aménagement des usages des ressources et des espaces marins et littoraux [UMR M101]. Elle regroupe des équipes du département d'économie maritime de l'Iremer et du Centre de droit et d'économie de la mer de l'université de Bretagne Occidentale.

⁶ Devenue « Bordeaux Métropole » depuis la rédaction de cet article.

l'altération à grande échelle des écosystèmes par les hommes a conduit à un accroissement de certains SE (la production agricole et de bois) au détriment d'autres (le stockage de carbone, la qualité de l'eau, etc.). Des études du même type ont été lancées à l'échelle nationale dans divers pays, notamment au Royaume-Uni [UK NEA, 2011]. La France a également mené des études sur la faisabilité d'un MEA national [CREDOC, 2009 ; LEVREL, 2007], et le projet Efese (pour : évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques) lancé en 2012 et porté par le ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie vise à évaluer d'ici 2016 l'état des services écosystémiques sur le territoire français. Cette démarche s'est également concrétisée au niveau international par la création officielle de l'International Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES)⁷ en 2011 qui a pour objectif de devenir une « interface entre sciences et politiques sur la préservation de la biodiversité et des services écosystémiques ».

2.2. Définitions

Qu'appelle-t-on au juste « service écosystémique » (SE) ? Le MEA définit les SE comme « les bénéfices que les Hommes tirent des écosystèmes ». Ils résultent du bon fonctionnement des écosystèmes, c'est-à-dire de « la capacité des processus et des composants naturels à fournir des biens et des services qui satisfassent les besoins humains, directement ou indirectement » [DE GROOT *et al.*, 2002]. Ainsi, dans le cas de la production d'eau potable, les écosystèmes jouent un rôle de purification, notamment en réduisant la concentration de polluants dans les rivières ou les nappes. Les écosystèmes ont ainsi une fonction de régulation de la qualité de l'eau. On ne parlera toutefois de service qu'à partir du moment où il existe une demande et des personnes bénéficiant de la qualité de cette eau.

Les SE sont le plus souvent divisés en trois grandes catégories [HAINES-YOUNG et POTSCHIN, 2013]. Les services d'approvisionnement désignent les biens produits par les écosystèmes et directement consommés par l'être humain. Il s'agit, par exemple, de la production

de nourriture, de la disponibilité en eau potable, ou encore de ressources génétiques à la base des biotechnologies. Les services de régulation concernent les bénéfices issus de la régulation des processus écologiques tels que la prévention contre les inondations ou les glissements de terrain, la régulation du climat et de la qualité de l'air, la purification de l'eau douce par la rétention de nutriments et la décomposition des déchets organiques, ou encore la pollinisation. Enfin, les services culturels désignent les bénéfices non matériels issus des systèmes naturels à travers l'enrichissement spirituel, les usages de loisir ou encore la contemplation esthétique.

2.3. L'évaluation, la décision et la gestion collective des SE comme perspective actuelle de recherche et de mise en application

Le champ de recherche sur les services écosystémiques est aujourd'hui en plein essor et le nombre d'articles portant sur ce sujet ne cesse de se multiplier [VIHERVAARA *et al.*, 2010 ; JEANNEAUX *et al.*, 2012]. Il est traversé par de multiples controverses : elles portent notamment sur les définitions et les modes de classifications des SE [GATZWEILER, 2006 ; BOYD et BANZHAF, 2007 ; FISHER *et al.*, 2008 ; NAHLIK *et al.*, 2012] ainsi que sur le développement de méthodes d'évaluation biophysique et économique [LAMARQUE *et al.*, 2011 ; NELSON *et al.*, 2009 ; CHEVASSUS-AU-LOUIS *et al.*, 2009]. En effet, l'approche par les SE, parce qu'elle cherche à rendre visible les multiples contributions de la nature à la société et les arbitrages associés, est vue par beaucoup comme une voie prometteuse pour une meilleure prise en compte des écosystèmes dans les processus de décision [GOLDSTEIN *et al.*, 2012 ; TALLIS et KAREIVA, 2006]. Il s'agit pour cela, entre autres, de parvenir à mesurer les différentes contributions qu'ils apportent, ou encore d'évaluer les impacts de l'aménagement du territoire sur la capacité des écosystèmes à fournir ces services à l'avenir.

Étant donné la popularité croissante de ce concept forgé au départ pour attirer l'attention sur l'importance pour l'homme de multiplier les efforts de conservation des écosystèmes, et tout en gardant en tête les débats en cours, il apparaît important aujourd'hui de tester sur le terrain l'efficacité d'une telle

⁷ www.ipbes.net

approche et des outils associés dans leur capacité à faire évoluer concrètement la place des écosystèmes dans la décision à l'échelle territoriale et dans des situations concrètes de gestion.

3. Choisir une méthode d'évaluation adaptée aux enjeux de gestion collective des territoires

3.1. Choisir parmi une variété d'outils

Une diversité d'outils a été récemment conçue par différentes organisations et groupes de recherche visant à introduire les SE dans les processus de décision. Ils cherchent à systématiser davantage les évaluations des services écosystémiques, c'est-à-dire les rendre quantifiables et reproductibles, et à répondre à des enjeux et à des contextes de prise de décision divers [BAGSTAD *et al.*, 2013 ; PEH *et al.*, 2013]. Ces outils vont de simples tableurs – ESR, *Ecosystem Services Review* [WRI, 2012] – à des ensembles de logiciels complexes de modélisation spatiale – ARIES, *Artificial Intelligence for Ecosystem Services* [BAGSTAD, 2011] ; MIMES, *Multiscale Integrated Models of Ecosystem Services* [FENG *et al.*, 2011] ; InVEST, *Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs* [KAREIVA *et al.*, 2011], etc. Ils diffèrent ainsi dans la quantité de données locales à recueillir ainsi que dans le temps à consacrer et la force de travail à investir pour mener à bien l'évaluation. Certains sont conçus pour être applicables indifféremment à tout endroit de la planète et sont adaptés à des échelles nationales ou régionales (ARIES), tandis que d'autres s'appliquent de manière plus spécifique à certains sites et à certains SE (TESSA, *Toolkit for Ecosystem Service at Site-based Assessment* [PEH *et al.*, 2013] ; EcoMetrix [PARAMETRIX, 2010]). Certains privilégient l'évaluation biophysique des SE (InVEST, ARIES) tandis que d'autres proposent des évaluations monétaires (ESV, *Ecosystem Valuation Toolkit* [ESV, 2012]). Enfin, ces outils diffèrent dans la manière d'impliquer les parties prenantes du site ou du territoire étudié.

3.2. Le choix de la représentation cartographique et d'une approche intégrée

Dans cette recherche, Lyonnaise des Eaux et l'UMR AMURE ont choisi de tester et d'adapter la démarche InVEST (*Integrated Valuation of Environmental*

Services and Tradeoffs) développée par le Natural Capital Project [KAREIVA *et al.*, 2011]. Il s'agit de modèles déterministes utilisant une variété de données spatiales, notamment Corine Land Cover, ainsi que des données biophysiques insérées sous la forme de tableaux de coefficients. Ils sont fondés sur des fonctions de production écologiques, souvent inspirées de modèles déjà existants. Ces fonctions définissent comment l'étendue spatiale, la structure et le fonctionnement des écosystèmes, l'usage du sol et l'intensité des activités humaines et des usages des milieux naturels déterminent la production locale de services écosystémiques. Les modèles produisent trois grands types de résultats : des résultats quantitatifs (biophysiques), des représentations cartographiques et pour certains SE des estimations de leur valeur économique.

Ils permettent également d'évaluer et de quantifier les impacts de changements passés ou prévus dans l'aménagement du territoire sur le bon fonctionnement des écosystèmes et sur le niveau de production des SE. La particularité de ces modèles est de proposer une approche intégrée et d'évaluation conjointe de multiples SE, mis en regard les uns par rapport aux autres. Une telle approche permet ainsi de rendre compte des relations qui existent entre plusieurs services fournis sur un même territoire et bénéficiant à différents usagers. En effet, les interactions entre services sont souvent complexes et imprédictibles et les SE peuvent avoir des relations négatives ou positives les uns sur les autres [ZURLINI *et al.*, 2010]. Ainsi, des synergies existent quand des services interagissent de manière multiplicative. Au contraire, un compromis (*trade-off*) apparaît quand la production d'un service est réduite en conséquence de l'augmentation de la production d'un autre. Par exemple, planter une forêt monospécifique afin qu'elle stocke un maximum de carbone pour contribuer à la réduction du taux de gaz à effet de serre dans l'atmosphère peut nuire fortement à la préservation de la biodiversité et à la régulation de l'apport en eau [CHISHOLM, 2010].

3.3. Une approche alliant évaluation et participation

Une telle approche présente plusieurs avantages au regard des problématiques qui ont été soulevées en

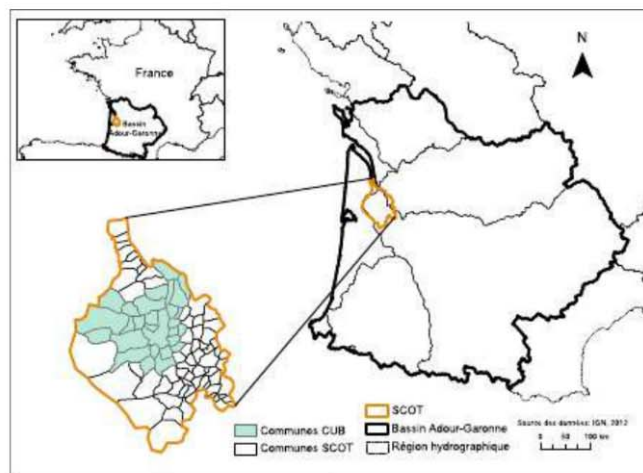
introduction quant à la gestion des enjeux du grand cycle de l'eau et leurs articulations avec d'autres problématiques environnementales des territoires. Premièrement, il s'agit de tester des méthodes d'évaluation des SE scientifiquement robustes et adaptées aux enjeux et aux acteurs concernés. Or l'approche proposée par le Natural Capital Project fait l'objet d'un effort de recherche international important et en constante évolution, qui se traduit notamment par de nombreuses expériences pilotes d'où tirer des enseignements. En outre, l'échelle d'application, au niveau territorial ou du bassin versant, est adaptée aux enjeux du grand cycle de l'eau ou de l'aménagement du territoire par des collectivités. La possibilité de produire des représentations cartographiques facilite la visualisation des résultats par différents publics ainsi que leur diffusion.

Deuxièmement, cet outil doit être utile pour éclairer les enjeux de gouvernance liés à la gestion du grand cycle et des milieux naturels. Or, afin de rendre cet outil utile dans des situations concrètes de prise de décision, ses concepteurs ont imaginé son utilisation au sein de groupes de discussion multiacteurs, travaillant notamment à partir de la projection dans des scénarios futurs contrastés. Cela permet notamment aux parties prenantes de pouvoir comparer les effets de diverses options de gestion du territoire, ou encore les effets anticipés du changement climatique, sur la production de multiples SE.

4. Une mise en application sur le territoire de Bordeaux : contexte et méthode

4.1. Un projet métropolitain à la recherche d'innovations pour la prise en compte des milieux naturels

Cette recherche est menée sur le territoire bordelais – périmètre du schéma de cohérence territoriale (SCoT) de l'aire métropolitaine bordelaise⁸ – en collaboration avec la direction de la nature de la communauté urbaine de Bordeaux (figure 1). Cette aire d'étude apparaît pertinente pour tester l'approche par les services écosystémiques de plusieurs points de vue. Premièrement, il s'agit d'un territoire présentant



CUB : communauté urbaine de Bordeaux ; SCoT : schéma de cohérence territoriale (périmètre).
Figure 1. Aire d'étude

des occupations du sol variées, associées à la production de divers SE, allant de zones fortement urbanisées à des zones agricoles et viticoles, une partie du massif forestier landais, des corridors écologiques et d'importantes zones humides utiles dans la prévention du risque inondation. En outre, le contexte de l'aire d'étude est intéressant puisqu'il pose un ensemble de questions concrètes d'aménagement du territoire. En effet, la CUB s'est fixée comme objectif d'atteindre le million d'habitants d'ici 2030 (contre environ 730 000 aujourd'hui).

Elle a pour cela lancé en 2009 une démarche de prospective qui a abouti au document d'orientation « Projet Métropolitain »⁹ qui articule une vision pour la métropole à l'horizon 2030. Dans ce cadre, la démarche « 55 000 hectares pour la Nature », portée par la direction de la nature, a pour objectif de rendre compatible la croissance démographique avec « le respect et la valorisation de ces espaces de nature dans la métropole, pour le bien-être des hommes et le respect des impératifs biologiques des espèces animales et végétales » ([CUB, 2012], p. 1). La CUB souhaite donc mettre le « rapport collectif à la nature » au cœur de sa réflexion dans la décennie à venir. La volonté de prendre mieux en compte la nature dans le projet métropolitain et d'en faire l'un des « grands chantiers de la décennie bordelaise »

⁸ <http://www.sysdau.fr>

⁹ <http://www.lacub.fr/le-projet-metropolitain>

RETOUR D'EXPERIENCE



Étang de la Loy : Mise en sécurité du barrage

L'étang de la Loy est une retenue d'eau datant du XIII^{ème} siècle créée par un barrage en terre sur le cours du ru de la Brosse. Cet ouvrage, conformément au décret du 11 décembre 2007 et à l'arrêté du 29 février 2008, a fait l'objet d'un classement au titre de la sécurité des ouvrages hydrauliques en catégorie C. Le diagnostic de sûreté du barrage a déterminé la nécessité de mettre en sécurité l'ouvrage et ses organes hydrauliques pour faire face à une crue d'occurrence millénaire.

La présence d'habitations à l'aplomb immédiat du pied du barrage de l'étang de la Loy a conduit la Communauté d'Agglomération de Marne et Gondoire à mettre en sécurité l'ouvrage pour des périodes extrêmes atteignant l'occurrence millénaire. Le projet est basé sur une modélisation fine de l'ensemble du bassin versant afin de simuler le comportement des ouvrages hydrauliques du barrage.

la Loy est divisé en 44 sous bassins naturels ou urbanisés. L'étang est le dernier verrou avant la Marne et est à ce titre intégré dans le Schéma Général d'Assainissement Pluvial et de Régulation des débits du bassin versant du ru de la Brosse. L'étang de la Loy d'une superficie de 8,36 ha barre la vallée du ru de la Brosse sur 300 m de long immédiatement à l'amont de sa confluence avec la Gondoire.

Modélisation dynamique du bassin versant du ru de la Brosse et de la chaîne des étangs

Les différentes modélisations, réalisées avec HEC-HMS, ont reproduit le comportement du bassin

versant du ru de la Brosse dans 4 états d'aménagement allant de l'état actuel à un aménagement comprenant les ZACs et bassins de rétention programmés. Le comportement de l'étang de la Loy, dernier étang sur le cours du ru, a ainsi été analysé pour des pluies d'occurrence comprise entre la décennale et la millénaire. Les résultats des simulations montrent qu'après la remise en état des ouvrages hydrauliques et des vannes ainsi que la surélévation du barrage d'un mètre pour obtenir la sécurité nécessaire pour faire face aux plus hautes eaux modélisées, le barrage de l'étang de la Loy sera capable de contrôler la crue du millénaire.

Un verrou stratégique

D'une superficie d'environ 2520 ha, le bassin versant de l'étang de

Agrément « Dignes et petits barrages. - Études, diagnostics et suivi des travaux »

L'arrêté du 7 avril 2011 autorise le bureau d'études Confluences à effectuer pour une digue, quelle que soit sa classe ainsi que, pour un barrage de classe C ou D, le projet de réalisation ou de modification substantielle, la mission de maîtrise d'œuvre décrite à l'article R. 214-120 et les diagnostics de sûreté. Il autorise également pour une digue l'étude de dangers et la revue de sûreté.



Mission complète de maîtrise d'œuvre pour la Sécurisation, le Confortement du barrage de l'étang de la Loy et la remise en état des anciennes vannes, 2011.

Confluences
Ingénieurs Conseil
www.confluences-ic.fr



Respirez, c'est un **DiP**!

Relevage d'effluent en ligne

Direct, **I**nnovant et **P**ropre



s'est également traduite par des objectifs dans les documents de planification tels que le SCoT (« charpente paysagère ») ou le plan local d'urbanisme PLU (« enveloppe urbaine constante » et démarche « ville-nature »). On peut imaginer à ce stade que l'évaluation de la fonctionnalité des écosystèmes du territoire puisse à terme contribuer à instruire ces différents objectifs.

4.2. Choix des services écosystémiques étudiés

Parmi l'ensemble des services écosystémiques dénombrés dans le MEA, et pouvant faire l'objet de représentations cartographiques, huit ont été retenus pour l'aire d'étude. Trois de ces modèles évaluent les services hydrologiques : l'apport d'eau, la rétention de nutriments et la rétention de sédiments. Cette sélection est cohérente notamment du point de vue de la gestion des enjeux du grand cycle de l'eau de protection de la ressource, de gestion des eaux pluviales ou encore de prévention du risque inondation présents sur le territoire. Un modèle d'évaluation de la biodiversité, comprise ici dans sa dimension « culturelle », a également été retenu. Il montre les zones d'habitats adéquats à la présence potentielle de communautés d'espèces qu'il est possible d'observer. Le modèle de séquestration et de stockage de carbone est également utilisé et fait écho notamment au plan climat de la CUB¹⁰, en estimant les quantités de carbone déjà stockées et ainsi non renvoyées dans l'atmosphère sous forme de gaz à effet de serre (GES). Étant donné les enjeux agricoles présents au sein et autour de l'agglomération bordelaise, un modèle de production agricole a été proposé. Enfin, compte tenu de l'usage de loisir associé aux espaces de nature présents au sein des différentes communes étudiées, une modélisation du service récréatif fourni par les écosystèmes a, elle aussi, été retenue.

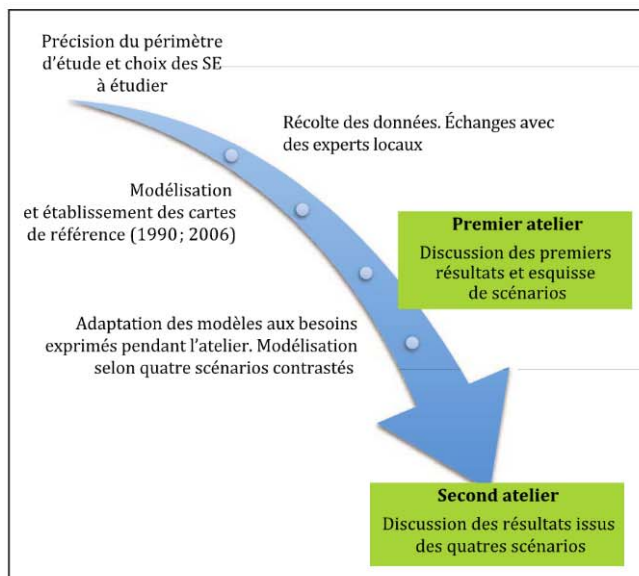
4.3. Méthodologie générale

Cette recherche a été menée en suivant différentes étapes successives, articulant le travail de l'équipe de recherche avec des contributions de plusieurs parties prenantes (entretiens, ateliers) (figure 2). Dans un

premier temps, des réflexions ont eu lieu sur le choix de l'aire d'étude ainsi que sur les services écosystémiques à étudier et les modèles à utiliser. La seconde phase a abouti à un ensemble de cartographies et de résultats de référence sur l'état des fonctionnalités des écosystèmes de la zone d'étude et de la production de SE (en se basant sur les cartographies Corine Land Cover de 1990 et 2006 et l'évolution entre les deux périodes). Elle s'est accompagnée d'une récolte de données locales disponibles requises par les modèles et, dans la mesure du possible, adaptées aux particularités du territoire, du climat et des milieux naturels. Pour certains modèles, des experts locaux ont été consultés, notamment des chercheurs de l'INRA et des associations de protection de la nature présentes sur le territoire. Par ailleurs, des entretiens qualitatifs ont été menés auprès de différentes directions au sein des équipes de la CUB et de divers acteurs du territoire, afin de mieux comprendre les questions qui se posent à eux autour de la prise en charge des milieux naturels en lien avec leurs activités, et sur la pertinence *a priori* d'une approche centrée sur les SE.

Enfin, deux ateliers participatifs ont été organisés en novembre 2013 et en juin 2014, réunissant des porteurs d'enjeux autour de la gestion des écosystèmes rencontrés en entretien (différentes directions de la CUB (nature, eau, urbanisme), Lyonnaise des Eaux, chambre d'agriculture, région Aquitaine, Sepanso, Cistude Nature). Au cours du premier atelier, les premiers résultats d'évolution des SE de 1990 à 2006 ont été présentés et discutés collectivement. Les participants ont formulé des propositions d'améliorations à apporter aux modèles afin de les rendre plus pertinents au regard des problématiques propres du territoire. Dans un second temps, ce premier atelier a permis d'esquisser des futurs hypothétiques des dynamiques d'occupation du sol, à partir desquels il est possible de comparer des scénarios contrastés d'évolution des services écosystémiques. Quatre scénarios ont finalement été élaborés : un scénario « au fil de l'eau », un scénario « planification » prenant en compte le plan local d'urbanisme en vigueur, un scénario de conservation prioritaire des services de régulation et un scénario de conservation prioritaire des services d'approvisionnement. Chacun de ces scénarios est représentatif d'une orientation archétypale

¹⁰ <http://www.lacub.fr/nature-cadre-de-vie/plan-climat>



SE : services écosystémiques.

Figure 2. Méthode d'élaboration des résultats de l'étude

d'aménagement du territoire et a donné lieu à la production de cartographies d'évolution des SE d'ici à 2030. Le second atelier a été l'occasion de présenter les résultats portant sur les tendances d'évolution des SE dans chacun des quatre scénarios contrastés. Ils

ont été discutés en lien avec les différentes problématiques d'aménagement du territoire propre à chaque acteur du groupe de travail.

5. Exemples de résultats

Les résultats obtenus peuvent être présentés sous forme de cartes montrant l'évolution de la capacité de différentes zones hydrographiques à fournir des SE (figure 3). Il serait trop long de décrire ici le fonctionnement de chaque modèle et leurs limites respectives. De manière générale, on retiendra que les zones identifiées en rouge ont connu une perte importante du SE considéré entre 1990 et 2006, relativement aux autres zones de la carte. À l'inverse, les zones identifiées en vert ont connu une évolution positive pour le service considéré. On peut à ce stade proposer quelques hypothèses. Par exemple, la diminution entre 1990 et 2006 de la capacité des zones localisées au nord-ouest de l'aire d'étude, principalement forestière, à stocker du carbone peut être attribuée aux pertes d'arbres dues à la tempête de 1999. Par ailleurs, d'autres évolutions négatives telles que la capacité des écosystèmes à retenir l'azote à l'est de la CUB peuvent

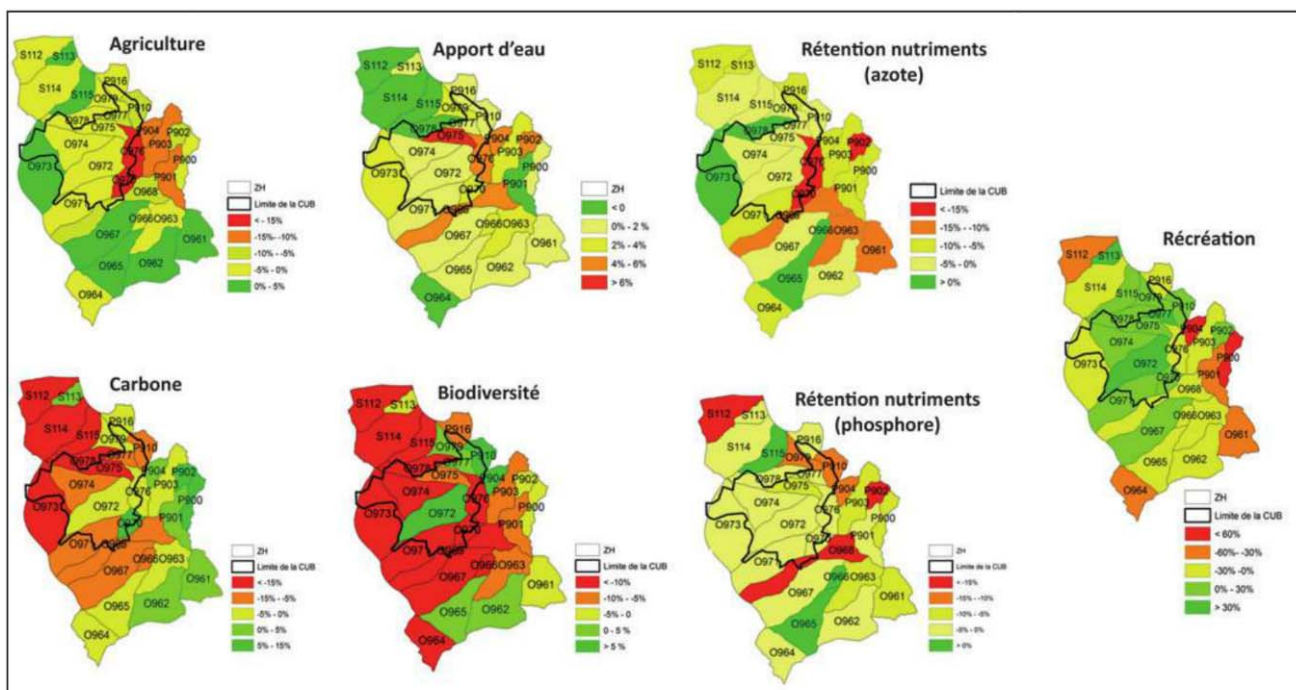


Figure 3. Variation (%) des niveaux de services écosystémiques par zones hydrographiques (ZH) du schéma de cohérence territoriale (SCoT) entre 1990 et 2006. Le modèle rétention de sédiments n'est pas montré, car il a eu une variation nulle entre les deux dates

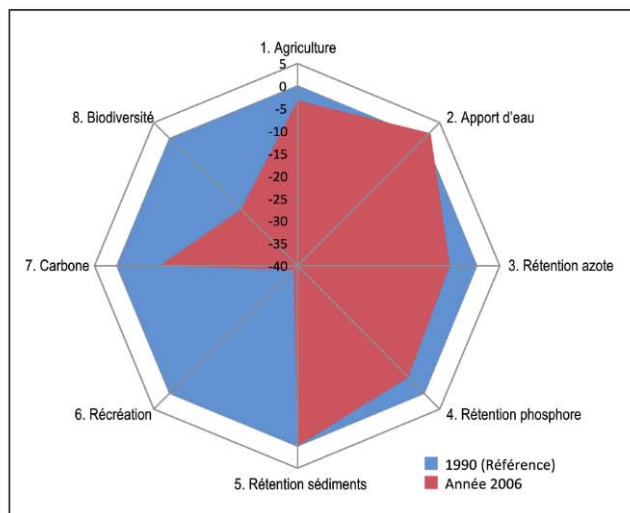


Figure 4. Variation des indicateurs de services écosystémiques (%) entre 1990 et 2006 sur l'aire du schéma de cohérence territoriale (SCoT)

être attribuées à la progression de l'artificialisation des sols et à la pression urbaine. De la même manière, le service d'apport d'eau, lorsqu'il augmente, a dans le contexte de notre étude des effets négatifs sur le bien-être. En effet, il rend compte des flux croissants d'eau qui peuvent s'écouler sans être arrêtés par les milieux naturels, augmentant ainsi le risque d'inondations en cas de fortes pluies. Ce travail d'interprétation des différents résultats cartographiques a été mené au cours des différents ateliers et gagnerait à être poursuivi.

Les résultats peuvent également être présentés sous la forme de pourcentages. Ainsi, d'après les premiers résultats, la capacité générale des milieux naturels à stocker du carbone aurait diminué de 9,4 % sur l'aire d'étude et celle à retenir l'azote de 6,1 %. Selon l'approche retenue dans cette étude, le service de biodiversité aurait quant à lui diminué de 22,2 %. L'intérêt de ce type d'évaluation est également de permettre de comparer entre elles les évolutions des SE sur le territoire comme le montre le diagramme « radar » de la figure 4. On constate ici que, sous la pression urbaine, les services écosystémiques étudiés connaissent tous une évolution négative, à des niveaux toutefois inégaux. Ces évolutions auront des conséquences diverses et seront plus ou moins préoccupantes pour différents groupes d'acteurs, compte tenu de leurs activités.

6. Perspectives et conclusion

Les deux ateliers ont permis de tester la pertinence de l'approche retenue auprès de certains porteurs d'enjeux du territoire et d'affiner les résultats. Leur participation active et la volonté de comprendre les modèles et de rattacher les résultats préliminaires à leurs propres activités a témoigné de l'intérêt porté à ce type de démarches. Une importance particulière a été accordée pendant l'atelier à évaluer la fidélité des modèles aux diverses représentations du territoire présentes au sein du groupe, tout en reconnaissant les limites de l'exercice. Ainsi, certains modèles, tels que les modèles récréatif et de biodiversité proposés, ont été l'objet de discussions plus importantes que les autres et de propositions de modification par les acteurs. À ces propositions de raffinement des modèles se sont ajoutées des suggestions pour améliorer la transmission et la communication des résultats. L'idée de procéder à un découpage par commune pour montrer les tendances d'évolution des SE à l'échelle la plus pertinente pour les élus a été ainsi retenue à la demande du groupe de travail, puis appliquée dans la suite du travail. Le second atelier a également été l'occasion de tester et de discuter collectivement les résultats portant sur les tendances d'évolution des SE à partir des quatre scénarios contrastés. Il a contribué à sensibiliser les membres du groupe de travail à l'importance de prendre en compte les enjeux liés à la bonne qualité des écosystèmes et au bon fonctionnement des processus écologiques dans les choix d'aménagement à horizon 2030.

L'approche par les services écosystémiques permet d'apporter un autre regard sur les enjeux du grand cycle de l'eau, en articulant les problématiques « eau » à d'autres fonctions et usages des milieux naturels. Elle ouvre ainsi un espace de dialogue, sur une base conceptuelle et scientifique commune, entre une variété de porteurs d'enjeux. Dans cette étude nous testons une démarche qui permet de progresser sur deux des trois défis du grand cycle de l'eau posés par la note de l'Onema évoquée en début d'article :

- le développement de méthodes d'évaluation de ces objets complexes que sont les milieux naturels dans leurs multiples dimensions ;
- la mise en œuvre d'une démarche collective d'élaboration des connaissances pouvant ouvrir la voie à des modalités originales de gestion collaborative des milieux naturels.

Au-delà de la finalisation de cette étude, il sera nécessaire par la suite de la tester dans d'autres contextes de décision et d'action ainsi que de continuer à travailler sur les liens entre ces évaluations, les processus de prise de décision, et les activités d'ingénierie contribuant au maintien du bon fonctionnement des écosystèmes de nos territoires.

Bibliographie

AMIGUES J.P., CHEVASSUS-AU-LOUIS B. (2011) : *Évaluer les services écologiques des milieux aquatiques : enjeux scientifiques, politiques et opérationnels*. Onema. 172 pages.

BAGSTAD K.J., VILLA F., JOHNSON G., VOIGT B. (2011) : *ARIES – Artificial Intelligence for Ecosystem Services: A Guide to Models and Data, Version 1.0 Beta*. The ARIES Consortium, Bilbao, Spain.

BAGSTAD K.J., DARIUS J.S., WAAGE S., WINTHROP R. (2013) : « A comparative assessment of decision-support tools for ecosystem services quantification and valuation ». *Ecosystem Services* 5 (September) : 27-39.

BOYD J., BANZHAF S. (2007) : « What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units ». *Ecological Economics* ; 63, no. 2-3 : 616-26.

CAS – Centre d'analyse stratégique (2013) : *Pour une gestion durable de l'eau en France : Volet 1 : quelle rationalisation des dépenses pour les acteurs de la politique de l'eau*. Note d'analyse n° 326 d'avril 2013.

CHEVASSUS-AU-LOUIS B., SALLES J.-M., PUJOL J.-L. (eds) (2009) : *Approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes*. Mission présidée par B. Chevassus-au-Louis. La Documentation française et Centre d'analyse stratégique, Paris.

CHISHOLM R.A. (2010) : « Trade-offs between ecosystem services : Water and carbon in a biodiversity hotspot ». *Ecological Economics* ; 69, n° 10-15 : 1973-1987.

COSTANZA R., D'ARGE R., DE GROOT R., FARBERK S., GRASSO M., HANNON B., et al. 1997. « The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital ». *Nature* ; 387 : 253-260.

CREDOC – Centre de recherche pour l'étude et l'observation des conditions de vie (2009) : *Étude exploratoire pour une évaluation des services rendus par les écosystèmes en France, Synthèse. Application du Millenium Ecosystem Assessment à la France*. Étude réalisée à la demande du MEEDDM, Direction de l'eau et de la biodiversité, Collection des Rapports n° 260.

CUB – Communauté urbaine de Bordeaux (2012) : *55 000 hectares pour la nature. Document programme et porter à connaissance*. Juillet 2012. <http://www.lacub.fr/nature-cadre-de-vie/55-000-hectares-pour-la-nature>

DAILY G.C. (1997) : *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Washington. Washington D.C: Center for Resource Economics, Island Press.

DE GROOT R.S. (1992) : *Functions of Nature*. Wolters-Noordhoff, Amsterdam, The Netherlands.

DE GROOT R., WILSON M., BOUMANS R. (2002) : « A typology for the classification, description and valuation

Remerciements

Cette recherche a été financée par Suez Environnement. Les auteurs aimeraient également remercier tous les participants aux entretiens et aux ateliers de travail qui ont contribué à l'élaboration des résultats de cette recherche.

of ecosystem functions, goods and services ». *Ecol. Econ.* ; 41, 393-408.

EHRlich P.R., MOONEY H.A. (1983) : « Extinction, substitution and ecosystem services ». *BioScience* ; 33 : 248-254.

ESV – Ecosystem Valuation Toolkit (2012) : *Ecosystem Valuation Toolkit*. Consultable sur : <http://esvaluation.org/about-serves> (consulté en août 2015).

FENG M., LIU S., EULISS JR. N.H., YOUNG C., MUSHET D.M. (2011) : « Prototyping an online wetland ecosystem services model using open model sharing standards ». *Environmental Modelling & Software* ; 26 : 458-468.

FISHER A., TURNER R.K., MORLING P. (2008) : « Defining and classifying ecosystem services for decision making ». *Ecological Economics* ; 68 : 643-53.

FOLKE C. (1991) : Socioeconomic dependence on the life-supporting environment. In : Folke C., Kaberger T., eds. *Linking the natural environment and the economy: essays from the Eco-Eco Group*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. p. 77-94.

GATZWEILER F.W. (2006) : « Organizing a public ecosystem service economy for sustaining biodiversity ». *Ecological Economics* ; 59 : 296-304.

GÓMEZ-BAGGETHUN E., DE GROOT R., LOMAS P.L., MONTES C. (2009) : « The history of ecosystem services in economic theory and practice: from early notions to markets and payment schemes ». *Ecological Economics* ; 69, no. 6 : 1209-18.

GOLDSTEIN J.H., CALDARONE G., KAEU DUARTE T., ENNAANAY D., HANNAHS N., MENDOZA G., et al. (2012) : « Integrating Ecosystem-service Tradeoffs into Land-use Decisions ». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* (Impact Factor: 9.81). 04/2012; 109(19):7565-70. DOI: 10.1073/pnas.1201040109.

HAINES-YOUNG R., POTTSCHIN M. (2013) : Common international classification of ecosystem services (CICES): consultation on version 4, August–December 2012. Contract No. EEA/IEA/09/003. EEA Framework.

JEANNEAUX P., AZNAR O., DE MARESCHAL S. (2012) : « Une analyse bibliométrique pour éclairer la mise à l'agenda scientifique des "services environnementaux" ». *VertigO* ; Vol. 12,3. Décembre 2012.

KAREIVA P., TALLIS H., RICKETTS T.H., DAILY G.C., POLASKY S. (2011) : *Natural capital. Theory and practice of mapping ecosystem services*. Oxford University Press. New York.

LAMARQUE P., QUÉTIER F., LAVOREL S. (2011) : « The diversity of the ecosystem services concept and its

implications for their assessment and management ». *Comptes Rendus Biologies* ; 334 : 441-449.

LEVREL H. (2007) : *Étude de faisabilité pour la réalisation d'un Millenium Ecosystem Assessment en France*. UMR 5173, CERSP. Muséum national d'histoire naturelle.

MEA – Millenium Ecosystem Assessment (2005) : *Ecosystems and human well-being: biodiversity*. Synthesis. World Resources Institute, Washington, DC.

MÉRAL P. (2012) : « Le concept de service écosystémique en économie : origine et tendances récentes ». *Natures Sciences Sociétés* ; 20, 3-15.

NAHLIK A.M., KENTULA M.E., FENNESSY M.S., LANDERS D.H. (2012) : « Where is the consensus? A proposed foundation for moving ecosystem service concepts into practice ». *Ecological Economics* ; 77 : 27-35.

NELSON E., MENDOZA G., REGETZ J., POLASKY S., TALLIS H., CAMERON D., et al. (2009) : « Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales ». *Frontiers in Ecology and the Environment* ; 7 (1) (February) : 4-11.

PARAMETRIX (2010) : *An introduction to EcoMetrix: measuring change in ecosystem performance at the site scale*. Parametrix, Portland, OR.

PEH K.S., BALMFORD A., BRADBURY R.B., BROWN C., BUTCHART S.H.M., HUGHES F.M.R., et al. (2013) : « TESSA: A toolkit for rapid assessment of ecosystem services at sites of biodiversity conservation importance ». *Ecosystem Services* ; 5 : 51-57.

TALLIS H., KAREIVA P. (2006) : « Shaping Global Environmental Decisions Using Socio-Ecological Models ». *Trends in Ecology and Evolution* ; 21, no. 10.

UK NEA – UK National Ecosystem Assessment (2011) : *The UK National Ecosystem Assessment: Synthesis of the Key Findings*. UNEP-WCMC, Cambridge.

VIHERVAARA P., RONKA M., WALLS M. (2010) : *Trends in ecosystem service research: Early steps and current drivers*. *Ambio* ; 39 : 314-324.

WRI – World Resources Institute (2012) : *The corporate ecosystem services review: guidelines for identifying business risks and opportunities arising from ecosystem change, Version 2.0*. World Resources Institute, Washington, DC.

ZURLINI G., JONES K.B., LI L., PETROSILLO I. (2010) : Potentials of ecosystem services accounting at multiple scales. In : *Encyclopedia of Earth*. Eds, Cutler J. Cleveland (Washington, D.C.: Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment). Consultable sur : http://www.eoearth.org/article/Potentials_of_ecosystem_service_accounting_at_multiple_scales?topic=58074

Résumé

C. FEGER, P. CABRAL, D. BASQUE, H. LEVREL, M. CHAMBOLLE

Grand cycle de l'eau, évaluation des services écosystémiques et aménagement du territoire : un premier retour d'expérience

La gestion collective du grand cycle de l'eau demande le développement de nouvelles approches permettant d'évaluer la contribution des écosystèmes à la protection et à la régulation de la ressource en eau, à la prévention des risques naturels, à la lutte contre le changement climatique ou encore à la conservation de la biodiversité. Les démarches d'évaluation intégrée et de cartographie des services écosystémiques sont une des pistes identifiées pour répondre à ce défi tout en associant étroitement les acteurs du territoire dans la construction et l'évaluation

des résultats. Lyonnaise des Eaux en partenariat avec l'UMR AMURE testent depuis plus d'un an une telle démarche sur le territoire de Bordeaux, en collaboration avec la direction de la nature de la communauté urbaine de Bordeaux. Cet article vise à resituer cette expérience dans le paysage actuel de la recherche sur les services écosystémiques et à faire un premier retour sur la méthode de travail mise en place pour obtenir les données nécessaires à la modélisation ainsi que sur les premiers résultats cartographiques.

Abstract

C. FEGER, P. CABRAL, D. BASQUE, H. LEVREL, M. CHAMBOLLE

Integrated water cycle management, ecosystem services and urban planning : a first return on experiment

Integrated water cycle management requires the development of new approaches to assess the contributions of ecosystems to the protection and regulation of water resources, natural risk prevention, climate change mitigation and biodiversity conservation. One way to address this challenge is to test methods of ecosystem services integrated assessment and mapping, in which various stakeholders are involved in an iterative process of

construction and discussion of the results. Lyonnaise des Eaux and UMR AMURE have been experimenting such an approach in Bordeaux for more than one year, in collaboration with the Nature Division of Bordeaux local authorities. This article begins by giving the general background of the research on ecosystem services. It then describes the current experience in Bordeaux, the methods used and the first results.