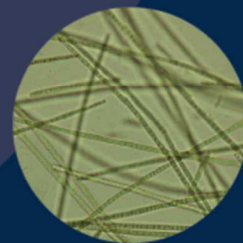


Eutrophisation

**Manifestations,
causes, conséquences
et prédictibilité**

*Rapport de l'Expertise scientifique collective
Décembre 2017*



Pilotes scientifiques de l'expertise

Gilles Pinay (CNRS), Chantal Gascuel (INRA), Alain Ménesguen (Ifremer), Yves Souchon (Irstea)

Coordination

Morgane Le Moal (CNRS)

Experts scientifiques

Lynda Aissani, Pierre Anschutz, Carole Barthélemy, Fabrice Beline, Gudrun Bornette, Catherine Boutin, Magalie Bourblanc, Annie Chapelle, Christian Chauvin, Pascal Claquin, Alain Crave, Pascal Denoroy, Jean-Marcel Dorioz, Jean-Marc Douguet, Isabelle Doussan, Patrick Durand, Claire Etrillard, Agathe Euzen, Didier Gascuel, Elisabeth Gross, Nicolas Hoepffner, Jean-François Humbert, Geneviève Lacroix, Olivier Le Pape, Alain Lefebvre, Jean-Marie Lescot, Alix Levain, Laurence Miossec, Florentina Moatar, Behzad Mostajir, Alexandrine Pannard, Frédéric Rimet, Nadège Rossi, José-Miguel Sanchez-Pérez, Sabine Sauvage, Philippe Souchu, Jean-Philippe Terreaux, Philippe Usseglio-Polatera, Brigitte Vinçon-Leite.

Documentation

Monique Delabuis, Sybille de Mareschal, Isabelle Dubigeon, Alain-Hervé Le Gall, Annick Salaün

Le présent document constitue le rapport d'une Expertise scientifique collective confiée par les ministères en charge de l'environnement et de l'agriculture et l'Agence française pour la biodiversité au CNRS, à l'Ifremer, à l'INRA et à Irstea. Il a été élaboré par un collectif d'experts scientifiques sans condition d'approbation préalable par les commanditaires, le CNRS, l'Ifremer, l'INRA ou Irstea et n'engage que la responsabilité de ses auteurs.

Ce présent document, la synthèse et le résumé de l'expertise sont disponibles sur le site : www.cnrs.fr/inee;

Pour citer ce document :

Expertise scientifique collective Eutrophisation, 2017. L'eutrophisation : manifestations, causes, conséquences et prédictibilité. Rapport d'Expertise scientifique collective, Rapport CNRS- Ifremer-INRA-Irstea (France), 1283 pages.

Pour citer les chapitres (cf chaque chapitre):

Auteurs du chapitre, 2017. Titre du chapitre. In : L'eutrophisation : manifestations, causes, conséquences et prédictibilité. Rapport d'Expertise scientifique collective, Rapport CNRS- Ifremer-INRA-Irstea (France), 1283 pages.

Crédits photographiques de la page de couverture: Reflet d'un photographe dans une bulle d'eau : © ALAIN JOCARD / AFP ; Observation au microscope (x200) d'une cyanobactérie d'eau douce, *Planktothrix* : @ Alexandrine Pannard / Université de Rennes 1 ; Echouage d'algues vertes sur les côtes bretonnes, Trezmalouen, Kerlaz, le 23 juin 2013 : @JP Guyomarc'h ; Photo aérienne d'une efflorescence phytoplanctonique à la Pointe Saint Gildas, Préfaïlles, le 1^{er} août 2014 : @Yves Le Medec / Minyvel-Environnement

Sommaire

Chapitre 1. Introduction.....	5
1.1. Contextualisation de la problématique	
1.2. Questions posées au CNRS, à l'Ifremer, à l'INRA et à Irstea	
1.3. Méthode	
1.4. Description du corpus bibliographique	
Chapitre 2. Définition scientifique de l'eutrophisation	13
2.1. Introduction	
2.2. Matériel et méthodes	
2.3. Résultats	
2.4. Discussion	
2.5. Conclusion	
2.6. Annexes	
2.7. Références bibliographiques	
Chapitre 3. Cadre réglementaire.....	82
3.1. Introduction	
3.2. Dispositions internationales relatives à l'eutrophisation	
3.3. Dispositions communautaires relatives à l'eutrophisation	
3.4. Dispositions nationales relatives à l'eutrophisation	
3.5. Conclusion	
3.6. Références bibliographiques	
Chapitre 4. Surveillance de l'eutrophisation, indicateurs et trajectoires	136
4.1. Eaux douces	
4.2. Milieux Marins	
4.3. Les départements d'outre-mer	
4.4. Références bibliographiques	
Chapitre 5. Mécanismes et conséquences de l'eutrophisation.....	405
5.1. Introduction	
5.2. Le rôle des activités humaines sur les flux de nutriments et les évolutions	
5.3. Facteurs de contrôle de l'eutrophisation	
5.4. Impact des changements induits par la pêche	
5.5. Transferts, rétention et transformation des nutriments	
5.6. La controverse entre N et P	
5.7. Conséquences de l'eutrophisation	
5.8. Restauration	
5.9. Vulnérabilité	

5.10. Changements globaux et eutrophisation	
5.11. Conclusions générales du chapitre	
5.12. Bibliographie	
Chapitre 6. Modélisation de l'eutrophisation	648
6.1. Introduction	
6.2. Modélisation des transferts diffus de nutriments dans les bassins versants	
6.3. Modélisation des processus dans le continuum fluvial	
6.4. Focus sur la modélisation de l'érosion	
6.5. Modélisation des phénomènes d'eutrophisation dans les écosystèmes lacustres	
6.6. Modélisation de l'eutrophisation dans le contexte « Marin côtier »	
6.7. Conclusions du chapitre	
6.8. Bibliographie	
Chapitre 7. Evaluation des flux de N et P issus de l'activité humaine vers le milieu aquatique et méthodes d'évaluation de l'impact d'eutrophisation résultant	790
7.1. Bilan des flux azotés et phosphorés générés par l'activité humaine et participant à l'eutrophisation – Identification et quantification des sources	
7.2. Méthodes d'évaluation de l'impact potentiel d'eutrophisation à l'aide d'approches de type pression-impact	
7.3. Références bibliographiques	
Chapitre 8. Impacts économiques de l'eutrophisation et instruments économiques pour diminuer ce phénomène	851
8.1. Analyse des impacts économiques	
8.2. Instruments économiques pour diminuer l'eutrophisation	
8.3. Références bibliographiques	
Chapitre 9. Les dynamiques sociales et politiques associées à l'eutrophisation et à sa prise en charge	949
9.1. Introduction	
9.2. Les trajectoires de l'eutrophisation dans les politiques publiques et en tant que problème public	
9.3. Représentations et perceptions associées aux enjeux, modes de gestion et usages de l'eau	
9.4. Approches situées des coopérations et des conflits associés à l'eutrophisation	
9.5. Enjeux, principes et pratiques de la gestion intégrée des problèmes d'eutrophisation	
9.6. Conclusion	
9.7. Références bibliographiques	
Chapitre 10. Conclusions générales	1130
10.1. Les constats	
10.2. Les verrous et les pistes d'investigations futures	
Annexe : Cahier des charges de l'ESCo eutrophisation	1136
Références bibliographiques de l'ensemble des chapitre	1139

Chapitre 1. Introduction

Morgane Le Moal & Monique Delabuis

1.1. Contextualisation de la problématique

Les sociétés humaines se sont généralement établies dans des vallées bordant des cours d'eau et des lacs, ou s'étendant le long du littoral. Essentielle à leur développement, l'eau a également toujours été utilisée par les sociétés comme réceptacle des déchets produits, le plus souvent non intentionnellement ou indirectement. L'accroissement des populations et le développement des sociétés ont cependant progressivement dépassé les limites des capacités d'épuration naturelles de l'eau, induisant une dégradation de sa qualité.

L'eutrophisation compte parmi les altérations les plus courantes des eaux continentales et marines. Déclenchés par des apports excessifs en nutriments, les phénomènes d'eutrophisation se traduisent par une productivité exacerbée des écosystèmes aquatiques. Les manifestations les plus connues sont les efflorescences de cyanobactéries toxiques dans les lacs et les cours d'eau, et les proliférations de macroalgues vertes dans les zones côtières. Ces phénomènes génèrent des perturbations majeures des écosystèmes aquatiques et ont des impacts sur les biens et les services associés, sur les activités économiques qui leur sont liées, et sur la santé de l'homme. L'intensification de l'agriculture et l'urbanisation sont identifiées comme les principales contributions de ces apports excessifs de nutriments aux écosystèmes aquatiques.

Les phénomènes d'eutrophisation ont été observés dès le début du XX^e siècle dans les milieux aquatiques situés à proximité des grandes aires urbaines et industrielles des pays industrialisés de l'hémisphère Nord. Ils ont donné lieu, il y a quelques décennies, à la mise en place d'actions politiques. Les enjeux de ces politiques, les cadres cognitifs et techniques de prise en charge de ces problèmes, leur visibilité sociale, les connaissances et les instruments qui les appuient ont ensuite considérablement évolué à partir des années 1990. A l'échelle européenne, ces évolutions se traduisent par exemple par la mise en place de conventions régionales telles que la convention OSPAR ou par des instruments normatifs comme la Directive cadre sur l'eau (DCE).

Une conséquence importante de ces évolutions est que l'eutrophisation est devenue, dans certains espaces, une question socialement vive, c'est-à-dire une question qui, investie par une pluralité d'acteurs porteurs de valeurs et d'intérêts contrastés, ne peut être uniquement abordée et traitée par l'établissement de preuves scientifiques. Si les phénomènes d'eutrophisation sont observables à l'échelle du globe, ils demeurent des phénomènes locaux : ils se matérialisent selon différentes formes et trajectoires et sont plus ou moins sensibles et problématisés selon les territoires. Les dispositifs publics de lutte contre l'eutrophisation accentuent ces enjeux sociaux et politiques, du fait, d'une part, des diverses contraintes réglementaires qui y sont associées, et, d'autre part, parce qu'ils alimentent le débat public autour des activités identifiées comme contribuant, ou ayant contribué de façon déterminante à l'enrichissement en nutriments des milieux aquatiques. C'est le cas en particulier en Europe et en Amérique du Nord, pour l'activité agricole.

1.2. Questions posées au CNRS, à l'Ifremer, à l'INRA et à Irstea

Dans ce contexte de questions socialement vives autour des problèmes d'eutrophisation, et en vue d'améliorer la cohérence, la pertinence et l'efficacité de l'action publique, les ministères en charge de l'écologie et de l'agriculture ont souhaité pouvoir s'appuyer sur une base scientifique regroupant les connaissances disponibles sur cette problématique.

Le CNRS, l'Ifremer, l'INRA et Irstea ont ainsi été sollicités pour produire un état des lieux critique des connaissances scientifiques certifiées, sur le plan européen et mondial, sur les causes, les mécanismes, les conséquences et la prédictibilité des phénomènes d'eutrophisation. Le terme d'eutrophisation étant utilisé à la fois par la communauté scientifique et par les politiques publiques, aboutissant à des définitions multiples, il a été demandé aux instituts de recherche de clarifier la définition de l'eutrophisation, en prenant en compte les besoins et les enjeux opérationnels de l'action publique. Il a également été souhaité que soit pris en compte le continuum terre-mer, c'est-à-dire le système de transfert des bassins-versants aux écosystèmes aquatiques d'eaux douces, saumâtres et marines, dans la mesure où il contribue à la caractérisation du risque d'eutrophisation. Enfin, il a été demandé aux quatre organismes d'identifier les verrous scientifiques nécessitant l'acquisition de nouvelles connaissances et pouvant faire l'objet de recherches. A été exclue du champ de l'expertise l'analyse détaillée de l'impact des activités humaines (systèmes agricoles, modalités de traitements de l'eau, etc.) sur l'eutrophisation. Seuls les impacts dans leurs aspects généraux et à une échelle spatiale large sont examinés, de manière à fournir une vision intégrée des processus à l'échelle nationale.

Au-delà de la compréhension des processus biophysicochimiques en jeu, il est apparu essentiel aux pilotes de l'expertise d'aborder l'eutrophisation comme un problème de société, pour deux raisons principales. D'une part, parce que l'accentuation des phénomènes d'eutrophisation apparaît comme très liée aux dynamiques de développement des sociétés humaines. D'autre part, parce que la visibilité sociale du phénomène s'accroît. Ont donc été inclus dans le champ de la littérature étudiée l'ensemble des travaux en sciences humaines et sociales, qui se sont penchés sur ces problèmes, en particulier les travaux d'économie, de droit, de science politique, de sociologie et de sciences de gestion qui apportaient des éléments clés de compréhension et d'analyse en ce qui concerne les politiques publiques de lutte contre l'eutrophisation et leur contexte de déploiement.

1.3. Méthode

1.3.1. Principes d'une Expertise scientifique collective (ESCo)

Les principes fondateurs d'une Expertise scientifique collective (ESCo) sont régis, d'une part, par la charte nationale de l'expertise du 22 décembre 2009, réalisée sous l'égide du ministère chargé de la recherche, et à laquelle le CNRS, l'Ifremer, l'INRA et Irstea ont adhéré, et, d'autre part, par des chartes propres à chacun des quatre instituts. La finalité d'une ESCo est de fournir aux pouvoirs publics un socle de connaissances scientifiques sur lequel s'appuyer dans un processus de décision politique. Une ESCo consiste donc à rassembler la littérature scientifique internationale disponible sur un sujet donné, et à en extraire les points de certitudes, les points d'incertitudes, les lacunes et les éventuelles questions faisant l'objet de controverses scientifiques. L'Expertise scientifique collective n'a pas vocation à fournir des avis d'experts ou des solutions techniques clé en main aux questions qui se posent aux gestionnaires, mais d'identifier les leviers d'action.

La robustesse, la qualité et l'objectivité d'une expertise reposent sur des principes fondateurs énoncés dans la charte nationale et celles des instituts, à savoir : **compétence, pluralité et impartialité** du collectif d'experts, ainsi que **transparence** de la démarche. La compétence est garantie par le mode de repérage des experts, qui s'opère sur la base de leurs spécialités en lien avec la problématique ainsi que sur la base de leurs publications reconnues par leurs pairs. La recherche d'une diversité pluridisciplinaire,

institutionnelle et internationale des experts permet d'assurer la qualité d'une expertise à travers la pluralité des analyses. Cela favorise par ailleurs la confrontation de points de vue et l'identification d'éventuelles controverses, répondant ainsi au principe d'impartialité, principe également conforté par le fait que chaque expert a rempli une charte de déontologie et de déclaration de liens d'intérêts. Enfin, le principe de transparence est assuré par la traçabilité et la reproductibilité de la méthode et par le fait que les sources utilisées sont rendues publiques.

1.3.2. Le collectif de l'ESCo eutrophisation

Le collectif de l'ESCo eutrophisation est composé d'une équipe projet, constituée de quatre pilotes scientifiques soutenus par une responsable de coordination et cinq documentalistes, ainsi que d'un groupe d'experts regroupant 39 scientifiques d'origines institutionnelles et géographiques diverses et (liste ci-dessous ; figure 1.1). Les domaines de compétences de ce collectif s'étendent de l'écologie, l'hydrologie, la biogéochimie, les sciences biotechniques notamment agronomiques, aux sciences sociales, au droit, à l'économie. Ils recouvrent les différents types d'écosystèmes aquatiques : cours d'eau, plans d'eau, estuaires, milieu marin côtier et hauturier, ainsi que la notion de continuum entre ces systèmes avec des spécialistes de l'approche bassins versants.

Pilotes scientifiques

Gilles Pinay, CNRS : biogéochimie, bassins-versants, zones humides, azote

Chantal Gascuel, INRA : hydrologie, hydrochimie, bassins-versants, nutriments, agriculture, structure du paysage et qualité des eaux, modélisation agrohydrologique

Alain Ménesguen, Ifremer : modèles d'eutrophisation marine (marées vertes, eaux colorées, hypoxie) ; seuils de bon état écologique ; modélisation de populations d'espèces benthiques (exploitées ou invasives)

Yves Souchon, Irstea : hydroécologie, habitat physique, hydromorphologie des cours d'eau, thermie, dynamique temporelle des communautés

Experts scientifiques

Lynda Aissani, Irstea : génie de l'environnement, évaluation environnementale, analyse du cycle de vie, territoire, méthanisation

Pierre Anschutz, Université de Bordeaux : cycle du phosphore, interface eau-sédiment, interaction eaux souterraines-eaux de surface, processus redox, milieux côtiers et lacs

Carole Barthélemy, université Aix-Marseille : sociologie de l'environnement, approches interdisciplinaires des interactions nature/société, pratiques, usages et représentations sociales de l'environnement

Fabrice Beline, Irstea : génie des procédés, procédés de traitement et valorisation, méthanisation, épuration des effluents et des déchets organiques

Gudrun Bornette, CNRS : écologie végétale, zones humides, rétrocontrôles trophie-thermie-contraintes physiques et fonctionnement

Catherine Boutin, Irstea : génie des procédés, traitements des eaux usées domestiques, performance, végétaux aquatiques, petites collectivités, assainissement non collectif

Magalie Bourblanc, Cirad : politiques publiques de l'eau et politiques agricoles ; analyse de l'action publique ; analyse de la construction des problèmes publics ; sociologie politique de l'expertise scientifique

Annie Chapelle, Ifremer : microalgues toxiques, modélisation, anoxie, sédiment, cycles de l'azote et du phosphore, phytoplancton

Christian Chauvin, Irstea : eaux continentales, macrophytes, bio-indication, relation biologie et physico-chimie

Pascal Claquin, université de Caen-Normandie : phytoplancton, écosystèmes côtiers, production primaire, diatomées, écophysiologie et écologie

Alain Crave, CNRS : rivières, flux de sédiments, géomorphologie fluviale

Pascal Denoroy, INRA : fertilisation, agriculture, gestion des sols, dynamique terrestre du P

Jean-Marcel Dorioz, INRA : spéciation, bassins-versants, lacs, pollution diffuse, sols

Jean-Marc Douguet, université Paris Saclay : économie écologique, évaluation intégrée, analyse intégrée, indicateurs, médiation des connaissances environnementales

Isabelle Doussan, INRA : droit de l'environnement, droit de l'eau, droit des ICPE

Patrick Durand, INRA : transfert de nutriments, agriculture et qualité des eaux, structure du paysage et cycle de l'eau, modélisation agrohydrologique intégrée, hydrologie des bassins-versants

Claire Étrillard, INRA : droit de l'environnement, droit de l'eau, droit des ICPE, réglementation des effluents et des déchets organiques

Agathe Euzen, CNRS : eau, perception, représentation, usages, pratique, développement durable

Didier Gascuel, Agrocampus Ouest : écologie marine, réseaux trophiques, modèles trophodynamiques, stocks halieutiques, mers européennes

Élisabeth Gross, université de Lorraine : écologie végétale, écologie chimique, stœchiométrie écologique, lacs plats, macrophytes-phytoplankton-cyanobactéries benthiques

Nicolas Hoepffner, Joint Research Center, Italy : phytoplancton, production primaire, télédétection, DCSMM

Jean-François Humbert, université Pierre et Marie Curie : écologie microbienne, écosystèmes lentiques et lotiques, vie planctonique et vie benthique, cyanobactéries, surveillance et gestion des écosystèmes aquatiques continentaux

Geneviève Lacroix, Royal Belgian Institute of Natural Sciences : modélisation hydrodynamique, modélisation écologique, eutrophisation côtière, modélisation du transport de larves, manche orientale mer du Nord

Olivier Le Pape, Agrocampus Ouest : écologie marine, écologie côtière, habitats halieutiques essentiels, conséquences des pressions anthropiques, bon état écologique

Alain Lefebvre, Ifremer : dynamique du phytoplancton, systèmes instrumentés haute fréquence, surveillance, observation, OSPAR, DCSMM

Jean-Marie Lescot, Irstea : économie, ressources naturelles, agriculture, environnement

Alix Levain, INRA : socioanthropologie de l'environnement, histoire environnementale, relations sciences-sociétés, sociétés rurales et littorales, confrontation aux changements environnementaux, pollutions aquatiques

Laurence Miossec, Ifremer : surveillance, qualité milieu marin, directives européennes (DCE, DCSMM), bon état écologique

Florentina Moatar, université de Tours : flux de nutriments, analyse de suivis spatio-temporels, régime thermique des cours d'eau, modélisation du changement climatique, eutrophisation des cours d'eau

Behzad Mostajir, CNRS : réseau trophique microbien, interactions trophiques, plancton, structure et fonctionnement, ingénierie écologique

Alexandrine Pannard, université de Rennes 1 : écologie du phytoplancton, contrôles physiques, activité photosynthétique, structure des communautés, diversité

Frédéric Rimet, INRA : phytoplancton, diatomées, écotoxicologie, bio-indication, DNA-barcoding

Nadège Rossi, Centre d'étude et de valorisation des algues : écologie marine côtière, macroalgues, bio-indicateur, eutrophisation

Sabine Sauvage, CNRS : modélisation, interactions hydrologie-biologie-géochimie, transferts de matières, hydrosystèmes

José-Miguel Sanchez-Perez, CNRS : modélisation hydrobiologique et biogéochimique, cours d'eau

Philippe Souchu, Ifremer : milieu côtier, recyclage, résilience, stratégies d'abattement, indicateurs

Jean-Philippe Terreaux, Irstea : économie, ressources naturelles, environnement, agriculture

Philippe Usseglio-Polatera, université de Lorraine : invertébrés, biotraits, diagnostics écologiques, multistress, cours d'eau

Brigitte Vinçon-Leite, École des ponts ParisTech : lacs et réservoirs, hydrodynamique, phytoplancton, hydrologie urbaine, cyanobactéries, modélisation intégrée

Coordination

Morgane Le Moal, CNRS, microalgues et macroalgues marines, cycles biogéochimiques

Documentation

Monique Delabuis, INRA

Isabelle Dubigeon, CNRS

Alain-Hervé Le Gall, CNRS

Sybille de Mareschal, Irstea

Annick Salaün, Ifremer

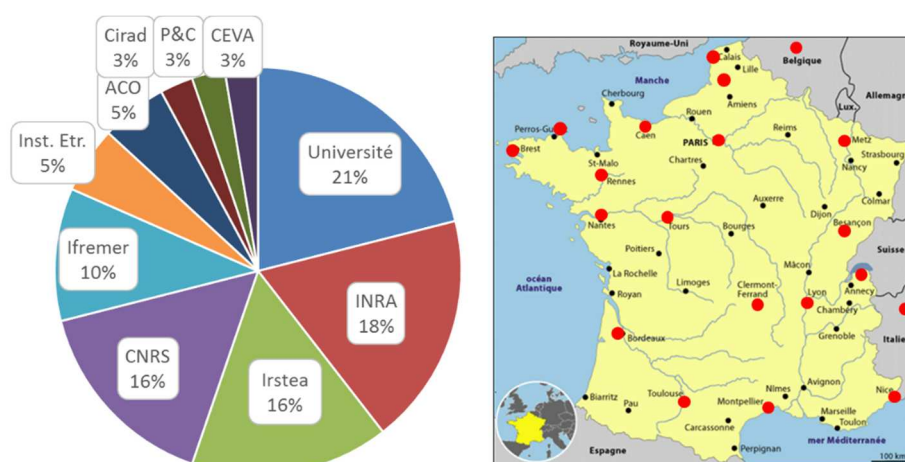


Figure 1.1. Origines institutionnelles et géographiques des 39 experts

D'autres chercheurs ont été sollicités directement par l'un des experts du collectif pour contribuer ponctuellement à la rédaction d'une section du rapport. Ces chercheurs sont cités dans les contributions écrites du rapport auxquelles ils ont apporté leur concours.

Le groupe d'experts a élaboré les différents volets de l'expertise, en analysant et en synthétisant les corpus documentaires adéquats. L'ensemble des contributions des experts est regroupé dans le présent rapport. A partir de ce rapport, l'équipe projet a élaboré une synthèse (144 pages) et un résumé (8 pages), disponibles en langues française et anglaise. L'ensemble de ces documents sont disponibles sur un site: www.cnrs.fr/inee. Les experts scientifiques sont responsables du rapport. L'équipe projet s'engage, quant à elle, sur les conditions dans lesquelles se déroule le processus d'expertise : qualité du travail documentaire d'inventaire des sources bibliographiques, transparence des discussions entre les experts, animation du groupe de travail et rédaction des documents de synthèses et de communications.

Les experts se sont répartis en 8 groupes de travail, certains experts étant impliqués dans plusieurs groupes. Chaque groupe aborde une thématique précise (Figure 1.2).

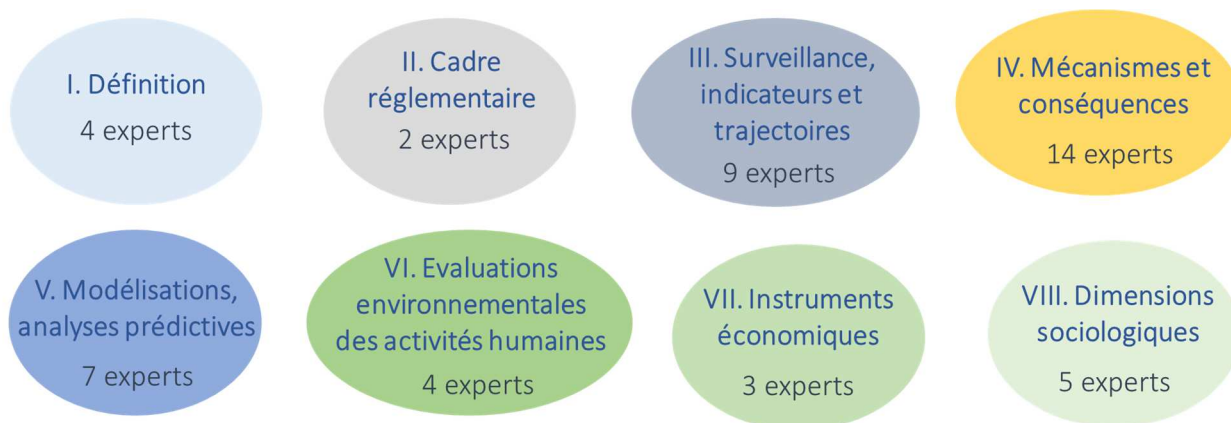


Figure 1.2. Les 8 groupes de travail de l'ESCo Eutrophisation.

1.3.3. Plan du rapport

Le plan du présent rapport est calqué sur cette répartition en 8 groupes thématiques, avec un chapitre introductif et un chapitre conclusif.

- Chapitre 1 : introduction
- Chapitre 2 : définition scientifique de l'eutrophisation
- Chapitre 3 : cadre réglementaire
- Chapitre 4 : surveillance de l'eutrophisation, indicateurs et trajectoires
- Chapitre 5 : mécanismes et conséquences de l'eutrophisation pour les écosystèmes
- Chapitre 6 : modélisation de l'eutrophisation
- Chapitre 7 : méthodes et évaluations environnementales des impacts des activités humaines
- Chapitre 8 : instruments économiques pour modéliser l'eutrophisation
- Chapitre 9 : sciences humaines et sociales
- Chapitre 10 : conclusions

1.3.4. Constitution du corpus bibliographique

Le corpus bibliographique sur lequel s'appuie l'expertise a été constitué à partir de requêtes effectuées dans **le Web of Science (WoS)**, un service d'information scientifique en ligne qui donne accès à plusieurs bases de données bibliographiques recensant une très grande partie de la littérature scientifique mondiale publiée. Pour les sciences humaines et sociales, des recherches complémentaires ont été menées dans les bases **Scopus** et **Econlit**.

Au sein de ces bases de données, et avec le soutien des documentalistes, chaque expert a utilisé une combinaison de mots-clés lui permettant d'extraire la littérature répondant à la question dont il avait la charge. Ce travail a été initié à travers une double approche. Afin de mettre en place une démarche commune aux 8 groupes de travail, les mots-clés partagés par différents groupes de travail ont été identifiés (figure 2.3). En parallèle, il a été demandé à chaque expert de fournir une liste d'une dizaine d'articles « incontournables » dans leur domaine d'expertise, en lien avec l'eutrophisation. Les mots-clés issus de ces articles de références ont été utilisés pour affiner et spécifier les équations de recherches. Ces articles ont également été utilisés, en fin d'exercice, pour vérifier que ces références « incontournables » étaient bien retrouvées dans les corpus bibliographiques finaux.

Nutrient	Causes	Ecosystemes	Paysage	Mécanisme	Conséquences	Sources anthropiques	Parametres	Changement climatique	...
Nutrient*	input	ecosystem*	catchment*	hydrodynam*	bloom*	industr*	O2	climat* chang*	
nitrog*	increase	river*	basin	denitrificat*	anox*	urban*	oxygen*	global chang*	
phosphor*	enrichment	lake*	ground*	diffus*	toxicit*	agricol*	light*	season*	
N	fertilizat*	estuar*	riparian*	flux*	proliferat*	anthrop*	temperatur*	regime shift	
P		marin*	bay*	residence time	DSP*	fisher*	salinit*	tipping point	
...	

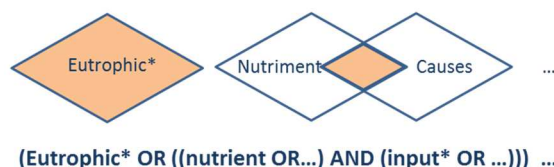


Figure 1.3. Exemple d'identification de concepts et mots-clés partagés par plusieurs groupes de travail, et du système de croisement des différents concepts pour former les équations de recherche.

Un travail continu d'itérations entre les documentalistes et les experts a ensuite été nécessaire afin de constituer des corpus exploitables et d'extraire les documents pertinents. De façon générale, voici les différentes étapes de cet affinage des corpus :

- Affinage par thématique : chaque expert a défini des composantes thématiques spécifiques à son domaine d'expertise,
- Examen des « WoS categories » associées aux références collectées : seules les références associées à des « WoS catégories » pertinentes pour la thématique de l'ESCo étaient conservées
- En fonction du nombre de références restantes, d'autres critères de tri ont pu être appliqués pour réduire la taille du corpus lorsque celui n'était pas analysable par une seule personnes (> plusieurs centaines).
 - o une analyse du nombre de citations des articles collectés a parfois été réalisée de sorte à ne conserver que les articles les plus cités annuellement (en moyenne) ;
 - o la priorité parfois a été donnée aux articles les plus récents et aux articles de synthèse (review)
 - o en fonction des thématiques concernées et de la quantité de littérature existante, les mots-clefs ont été recherchés dans le champ *Topic* (titre + résumé + mots-clefs) ou seulement dans le champ Titre

Pour certaines questions peu documentées, les experts ont dû compléter le corpus bibliographique avec de la **littérature grise**, c'est-à-dire de la littérature non visée par un comité de lecture académique. N'était alors retenue que la littérature émanant d'organismes gouvernementaux (rapports scientifiques ou techniques issus ou commandés par des organismes de recherche publics ou les services de l'Etat). Pour le droit et la surveillance, des textes juridiques et des rapports techniques dans les domaines de l'écologie appliquée ont été inclus. Concernant la question des manifestations de l'eutrophisation dans les départements d'outre-mer, la littérature scientifique académique était très limitée, la majeure partie des informations disponibles se trouvant dans la littérature grise. Par conséquent, la présente analyse bibliographique porte principalement sur la France métropolitaine. A noter que des difficultés ont été rencontrées pour impliquer des spécialistes du compartiment benthique marin et des territoires d'Outre Mer dans l'expertise.

Les références bibliographiques ont été compilées dans une base EndNote© et réparties par chapitre et par expert, en fonction des thématiques concernées et de la quantité de littérature existante.

1.4. Description du corpus bibliographique

L'expertise repose sur un corpus bibliographique de **3849 références**. Le rapport d'expertise est structuré en 10 chapitres, dont 8 comportent des références bibliographiques (Tableau 1.1).

Tableau 1.1. Nombre de références bibliographiques par chapitre. NB : certaines références ont été utilisées dans plusieurs chapitres.

Chapitre	Titre du chapitre	Nombre de référence
1	Introduction	0
2	Définition scientifique de l'eutrophisation	191
3	Cadre Réglementaire	36
4	Surveillance de l'eutrophisation, indicateurs et trajectoires	892
5	Mécanismes et conséquences de l'eutrophisation	1877
6	Modélisation de l'eutrophisation	724
7	Evaluation des flux de N et P issus de l'activité humaine vers le milieu aquatique et méthodes d'évaluation de l'impact d'eutrophisation résultant	274
8	Impacts économiques de l'eutrophisation et instruments économiques pour diminuer ce phénomène	327
9	Les dynamiques sociales et politiques associées à l'eutrophisation et à sa prise en charge	420
10	Conclusions et liste des références bibliographiques	0

La couverture temporelle des références citées dans le rapport couvre la période **1883 à 2017** (Figure 1.4). Le nombre de références publiées entre 1937 et 1983 est de 74. Plus de la moitié des références citées datent de moins de 10 ans (58% du corpus publié entre 2006 et 2016). C'est à partir de la fin des années 1990 que l'augmentation du nombre de publications par an s'accélère.

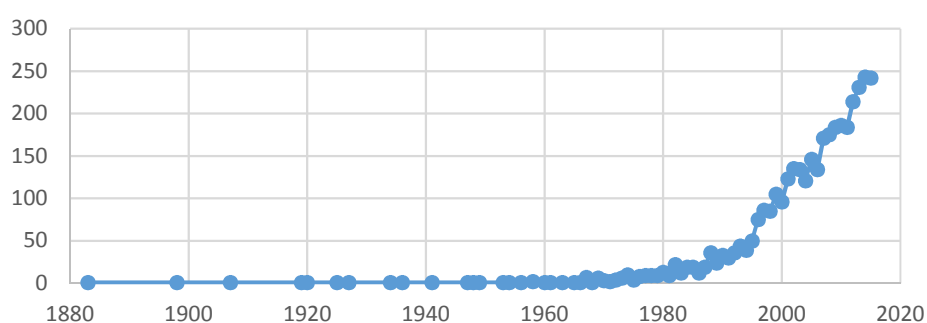


Figure 1.4. Répartition des références citées par date de publication.

Parmi les 3 849 références citées dans le rapport, **88% sont des articles de revues scientifiques ou techniques** (Figure 1.5). Ces 3 370 articles du corpus sont répartis dans 800 revues différentes. Près de la moitié (47%) de ces articles est répertoriée dans une cinquantaine de revues ayant pour la majorité d'entre elle une excellente notoriété (Figure 1.6 ; tableau 1.2).

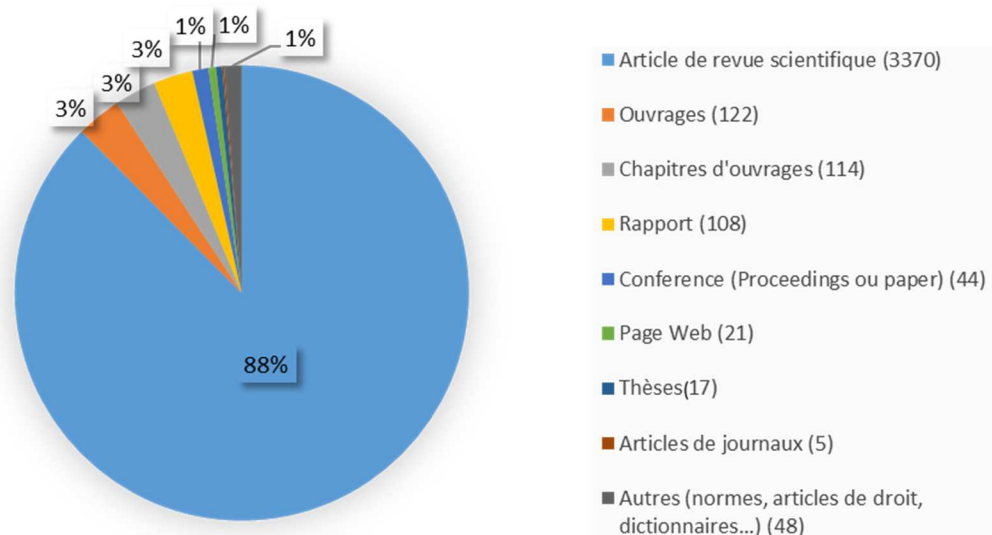


Figure 1.5. Répartition des références citées par type de document.

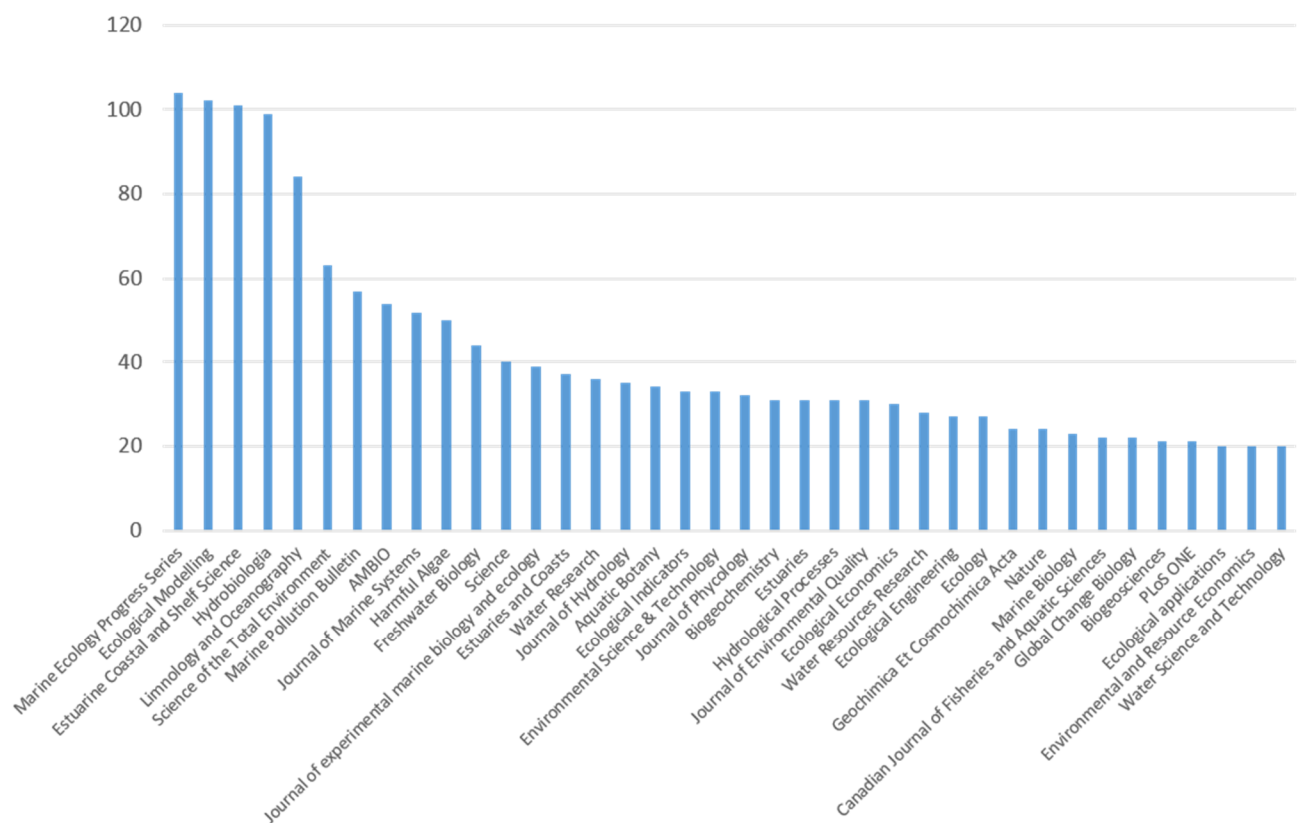


Figure 1.6. Les 50 revues comptabilisant le plus d'articles.

Tableau 1.2. Notoriété des revues du « top 50 ». La notoriété des revues est un indicateur produit selon la méthodologie conçue et mise en oeuvre par le CREBI (Solari et Magri, 20001), à partir des facteurs d'impact des Journal Citation Reports® annuels de Thomson Reuters (JCR®) par discipline (Wos Category). Données © 2016 Thomson Reuters JCR® / ESISM - Traitements © 2017 INRA CREBI NORIA.

Revue	Nombre d'articles	Notoriété
Marine Ecology Progress Series	104	Excellente
Ecological Modelling	102	Correcte
Hydrobiologia	99	Correcte
Limnology and Oceanography	84	Excellente
Estuarine Coastal and Shelf Science	101	Correcte
Science of the Total Environment	63	Excellente
Marine Pollution Bulletin	57	Excellente
AMBIO	54	Excellente
Journal of Marine Systems	52	Excellente
Harmful Algae	50	Excellente
Freshwater Biology	44	Excellente
Science	40	Exceptionnelle
Journal of experimental marine biology and ecology	39	Correcte
Estuaries and Coasts	37	Correcte
Water Research	36	Exceptionnelle
Journal of Hydrology	35	Excellente
Aquatic Botany	34	Correcte
Ecological Indicators	33	Excellente
Environmental Science & Technology	33	Exceptionnelle
Journal of Phycology	32	Excellente
Biogeochemistry	31	Excellente
Estuaries (ancien titre de la revue "Estuaries and Coasts	31	Correcte
Hydrological Processes	31	Excellente
Journal of Environmental Quality	31	Correcte
Ecological Economics	30	Excellente
Water Resources Research	28	Exceptionnelle
Ecological Engineering	27	Excellente
Ecology	27	Excellente
Geochimica Et Cosmochimica Acta	24	Excellente
Nature	24	Exceptionnelle
Marine Biology	23	Correcte
Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences	22	Excellente
Global Change Biology	22	Exceptionnelle
Biogeosciences	21	Excellente
PLoS ONE	21	Excellente
Ecological applications	20	Excellente
Environmental and Resource Economics	20	Correcte
Water Science and Technology	20	Acceptable
Journal of Sea Research	19	Correcte
PNAS	19	Exceptionnelle
Environmental Monitoring and Assessment	18	Correcte
Journal of Plankton Research	17	Correcte
Journal of Applied Phycology	16	Excellente
Journal of Environmental Management	16	Excellente
Continental Shelf Research	15	Correcte
Ecosystems	15	Excellente
Environmental Science and Pollution Research	15	Correcte
Global Biogeochemical Cycles	15	Excellente
Journal of the American Water Resources Association	15	Correcte
Ecology Letters	14	Exceptionnelle

¹ Solari, A., & Magri, M. H. (2000). A new approach to the SCI Journal Citation Reports, a system for evaluating scientific journals. *Scientometrics*, 47(3), 605-625., 2000, 47 (3) : 605-625.