



Les Comptes de la qualité des cours d'eau

**Mise en œuvre d'une méthode simplifiée
de calcul**

Développements en cours

Collection Etudes et travaux n° 25

Novembre 1999

Cet ouvrage a été réalisé par Philippe CROUZET (IFEN)
et Christophe GERMAIN (BETURE-CEREC),
assistés de Guillaume LE GALL (BETURE-CEREC)

Le développement de la méthode simplifiée a été réalisé avec la participation financière
d'EUROSTAT (FEDER 97/03/57/014)

Le suivi du projet a été assuré par :
Jean-Louis WEBER, Daniel DESAULTY (IFEN)
et Jean MARGAT (BRGM)

Coordination de la collection Etudes et travaux :
Françoise Nirascou (IFEN)

Directeur de la publication :
Bernard Morel, directeur de l'*ifen*

© *ifen*, 1999

ISSN 1263-9508 • ISBN 2-911089-29-4

TABLE DES MATIERES

LES COMPTES DE L'EAU EN QUALITE	7
INTRODUCTION.....	7
LE CADRE COMPTABLE NATIONAL.....	7
METHODE DE LA COMPTABILISATION DE L'EAU EN QUALITE	9
RAPPEL SUR LA QUALITE DES EAUX.....	9
PRINCIPES DE LA METHODE PRECONISEE PAR LA CICPN	9
<i>Objet des comptes en qualité</i>	10
<i>Supports et types de grandeurs de comptes en qualité réalisables</i>	11
METHODE SIMPLIFIEE.....	13
<i>Objectifs</i>	13
<i>Ajustements méthodologiques</i>	14
SCHEMA COMPTABLE	16
<i>Le tableau de synthèse du compte central</i>	16
<i>Le compte central</i>	17
APPLICATION DE LA METHODE SIMPLIFIEE	19
LES SOURCES DE DONNEES « QUALITE » UTILISEES	19
<i>L'origine et le contenu informatif des sources</i>	19
<i>Les traitements correctifs appliqués sur les sources de données</i>	20
<i>Erreurs non quantifiables</i>	21
METHODE D'EVALUATION DES KMCN PAR PSEUDO-TRONÇON DE CALCUL.....	21
DETERMINATION DES DEBITS CARACTERISTIQUES PAR PSEUDO-TRONÇON	23
<i>Choix du point de calcul du débit caractéristique du pseudo-tronçon</i>	23
<i>Quantification des erreurs et du biais pour le débit moyen</i>	25
<i>Méthode d'estimation des débits caractéristiques des tronçons</i>	26
<i>Résultats exprimés en kmcn</i>	28
<i>Homogénéisation des résultats</i>	30
<i>Procédure de calcul</i>	31
EVALUATION DES RESULTATS DE L'EXPLOITATION DES DONNEES.....	33
QUALITE MATIERES ORGANIQUES	33
<i>Etat 1992</i>	33
<i>Etat 1994</i>	34
NITRATE	36
EUTROPHISATION DES EAUX.....	38

EXPLOITATION DES RESULTATS	41
LE TABLEAU DE SYNTHESE	41
CONSTITUTION D'INDEX GLOBAUX	42
<i>Objectifs</i>	42
<i>Proposition d'index global de qualité</i>	42
<i>Calcul de l'index global, à différents niveaux d'agrégation</i>	43
VALEURS DES INDEX DE QUALITE OBTENUS	44
<i>Classes moyennes de qualité par altération</i>	44
<i>Comparaison des qualités générale et matières organiques</i>	45
<i>Importance relative des différentes pollutions</i>	46
DISCUSSION	51
LES APPORTS DE LA METHODE COMPTABLE	51
<i>Les enseignements de la méthode simplifiée</i>	51
<i>Les sous-produits</i>	51
<i>Les améliorations possibles au tableau de synthèse</i>	52
LES COMPLEMENTS NECESSAIRES AU COMPTE CENTRAL	54
LES APPORTS DU PROJET EUROWATERNET	54
OUVERTURES VERS UNE APPLICATION COMPLETE DE LA METHODE	54
ARTICULATION ENTRE LES DIFFERENTS NIVEAUX DES COMPTES.....	55
BIBLIOGRAPHIE (références citées dans le document)	57

Table des tableaux

Tableau 1 : Tableau type de synthèse de la qualité des eaux (altération x), France métropolitaine, ventilé par groupe de taille de cours d'eau.	16
Tableau 2 : Longueur des cours d'eau (totale et renseignée) des fichiers associés aux cartes du RNDE utilisées pour la réalisation du pilote des comptes en qualité	20
Tableau 3 : Caractéristiques des tronçons des cours d'eau pour les trois bassins exemple.....	24
Tableau 4 : Résultats statistiques des comparaisons entre la méthode simplifiée et la méthode de base. Débit moyen.....	25
Tableau 5 : Résultats statistiques des comparaisons entre la méthode simplifiée et la méthode de base. Débit à l'embouchure.....	26
Tableau 6 : Résumé des valeurs numériques des kmcn, France métropolitaine.	29
Tableau 7 : Etat 1992, 1994 et différence de l'état des cours d'eau France métropolitaine (en kilo-kmcn).	41
Tableau 8 : Résultats comparés des index de classes de qualité agrégées, pour les quatre altérations évaluées... ..	44
Tableau 9 : Comparaison entre la distribution des changements de classe de qualité et l'évolution de la qualité moyenne, par classe de taille de cours d'eau et France métropolitaine... ..	46
Tableau 10 : Importance relative de l'eutrophisation et des MO dans la qualité des cours d'eau.	48
Tableau 11 : Importance relative du nitrate et des matières organiques dans la qualité des cours d'eau.	48
Tableau 12 : Articulation entre les comptes et les étapes méthodologiques.....	55

Table des figures et graphiques

Figure 1 : Relations schématiques entre le compte central et le compte satellite de la qualité des eaux avec les autres entités des comptes.	17
Figure 2 : Découpage d'un réseau hydrographique en biefs homogènes utilisés dans la méthode de base.....	22
Figure 3 : Regroupement des biefs en pseudo-tronçons utilisés pour la méthode simplifiée	22
Figure 4 : Distribution des erreurs d'estimation des kmcn, pour les données du Tableau 3.....	24
Figure 5 : Distribution des valeurs de kmcn en France métropolitaine.....	28
Figure 6 : Distribution des kmcn par classe de taille de cours d'eau	30
Figure 7 : Analyse de détail de la répartition géographique des kmcn ventilés par classe de qualité, toutes classes de taille de cours d'eau confondues. Etat 1992.	33
Figure 8 : Distribution (en pourcentage) des quantités kmcn par classe de qualité et par classe de taille de cours d'eau. Etat 1992. Qualité générale, assimilable à celle évaluée par l'altération « matières organiques et oxydables ».....	34
Figure 9 : Répartition géographique des kmcn ventilés par classe de qualité, toutes classes de taille de cours d'eau confondues. Etat 1994.	35
Figure 10 : Distribution (en pourcentage) des quantités kmcn par classe de qualité et par classe de taille de cours d'eau. Etat 1994. Altération matières organiques et oxydables.....	35
Figure 11 : Proportion de kmcn de bonne ou de mauvaise qualité, rapportée à l'ensemble des classes de cours d'eau de chaque bassin versant RNDE. Etat 1994 de l'altération matières oxydables.....	36
Figure 12 : Répartition géographique des kmcn ventilés par classe d'altération « nitrate », toutes classes de taille de cours d'eau confondues. Etat 1994.	36
Figure 13 : Distribution (en pourcentage) des quantités kmcn par classe d'altération et par classe de taille de cours d'eau. Etat 1994. Pollution par le nitrate.	37
Figure 14 : Distribution (en pourcentage) des quantités kmcn par classe d'altération « proliférations végétales » et par classe de taille de cours d'eau. Etat 1994.....	38
Figure 15 : Répartition géographique des kmcn ventilés par classe d'altération « proliférations végétales », toutes classes de taille de cours d'eau confondues. Etat 1994.	39
Figure 16 : Distribution des changements 1992-1994 de la qualité générale, par classe de cours d'eau.....	45
Figure 17 : Prépondérance relative des « proliférations végétales » et des « matières organiques (année 1994), par classe de cours d'eau.....	46
Figure 18 : Répartition géographique de la prépondérance respective de l'eutrophisation et des matières organiques dans la qualité des eaux. Etat 1994 de la qualité, par classe de cours d'eau.....	47
Figure 19 : Prépondérance relative de l'altération « nitrate » et « matières organiques (année 1994), par classe de cours d'eau.....	48
Figure 20 : Répartition géographique de la prépondérance respective du nitrate et des matières organiques dans la qualité des eaux. Etat 1994 de la qualité générale, par classe de cours d'eau.....	49
Figure 21 : Qualité générale 1990-1992.	67
Figure 22 : Qualité vis-à-vis de l'altération matières organiques et oxydables 1992-1994.	68
Figure 23 : Qualité vis-à-vis de l'altération nitrate 1992-1994.....	69
Figure 24 : Qualité vis-à-vis de l'altération proliférations végétales 1992-1994.....	70

LES COMPTES DE L'EAU EN QUALITE

INTRODUCTION

Ce rapport présente la première expérience de réalisation des Comptes en qualité des eaux, menée sur l'ensemble du territoire métropolitain. Cette expérience a pu être conduite, 15 ans après la définition de la méthodologie des Comptes du patrimoine, grâce à l'existence des synthèses cartographiques publiées par le RNDE.

L'Ifen a développé à cette fin une méthode simplifiée de réalisation du tableau de synthèse des Comptes, c'est-à-dire seulement la partie des comptes qui traite du milieu physique. Ce développement a été conduit en tenant compte d'une part des contraintes inhérentes aux données disponibles et d'autre part des développements à envisager pour mener à bien la réalisation ultérieure du Compte complet, censé faire le lien avec les causes de l'évolution de la qualité.

LE CADRE COMPTABLE NATIONAL

La comptabilité nationale et régionale de l'eau a été conçue initialement dans le cadre des Comptes du patrimoine naturel. Ceux-ci ont été promus par la Commission interministérielle des Comptes du patrimoine naturel (CICPN) à partir de 1982. Ils visent à promouvoir la prise en compte chiffrée de l'environnement dans la Comptabilité nationale économique. Les paragraphes suivants s'inspirent directement du rapport final (CICPN, 1986).

Des essais avaient été tentés pour modifier le schéma comptable traditionnel, afin d'y introduire le patrimoine physique. L'inexistence d'unités institutionnelles propriétaires de ce patrimoine ainsi que l'impossibilité d'exprimer totalement la valeur monétaire de ce patrimoine ont obligé à renoncer à cette approche.

Toutefois, cette impossibilité reconnue de faire entrer les éléments du patrimoine dans les cadres comptables de l'époque n'a pas pour conséquence l'impraticabilité des méthodes comptables pour répondre aux deux questions essentielles :

- Quel est l'état du patrimoine ?
- Quel est le résultat des activités humaines sur ce patrimoine ?

La prise en considération du patrimoine naturel est donc possible en distinguant des **ensembles physiques** qui permettent de rendre compte de l'usage et des conséquences de cet usage, ou bien encore pour décrire les phénomènes spécifiques aux milieux.

En revanche, la **comptabilité sera monétaire** lorsqu'il s'agit de rendre compte des mouvements financiers engendrés par la gestion du patrimoine. Il doit normalement résulter de cette approche double deux systèmes comptables, en apparence hétérogènes, mais en principe raccordables dans la mesure où une nomenclature commune aura été utilisée avec des précautions suffisantes dans le traitement des données.

Error! Style not defined.

Les Comptes de l'eau sont donc une partie des Comptes du patrimoine et leur objectif est de relier avec cohérence, suivant des références spatiales et temporelles homogènes et pertinentes, les chiffrages et les statistiques sur les ressources en eau d'une part, sur les effets des aménagements et les utilisations d'eau d'autre part, afin de permettre une comptabilité analytique et une évaluation des pressions des utilisations sur les ressources.

Les Comptes de l'eau comportent donc des volets physiques et économiques. Dans le premier volet, on trouve les *Comptes de l'eau / Ressource*, les *Comptes de l'eau / Qualité* (objet de ce rapport) et une partie des *Comptes d'émission*. Dans le second volet, on trouve les *Comptes de dépense*.

Ce rapport traite spécifiquement de la partie *Comptes de l'eau / Qualité* du volet physique et de l'application pilote en France métropolitaine, réalisée à l'échelle des bassins versants du RNDE, en appliquant une méthode simplifiée, la seule possible dans l'attente de la disponibilité des données nécessaires à l'application de la méthodologie semi-simplifiée, puis de la méthodologie complète.

Une première synthèse a été publiée dans le « Rapport à la Commission des comptes et de l'économie de l'environnement » (IFEN, 1999).

Les aspects méthodologiques, d'organisation et de modélisation des données ainsi que de collecte des données et informations nécessaires à la réalisation du projet pilote sont indiqués, en précisant les moyens d'automatisation de la production des résultats qui ont été implémentés dans la base de données atelier des eaux continentales en cours de constitution à l'Ifen. Le but d'élaborer une méthode simplifiée pour effectuer des comptes de qualité est d'obtenir rapidement et avec un minimum de données disponibles, un ordre de grandeur des comptes à l'échelle des bassins versants définis par le Réseau national de données sur l'eau (RNDE).

Celui-ci est une conférence permanente créée en juillet 1992 par le ministère de l'Environnement regroupant les partenaires suivants :

- Agences de l'Eau,
- Conseil supérieur de la Pêche (CSP),
- Electricité de France (EDF),
- BRGM,
- IFREMER,
- Institut français de l'Environnement (IFEN),
- Météo France,
- Ministère chargé de l'Environnement,
- Ministère chargé de la Santé,
- l'Office international de l'Eau (OIEau).

METHODE DE LA COMPTABILISATION DE L'EAU EN QUALITE

On envisage ici d'une part les éléments sur lesquels porte la comptabilité physique de la qualité des eaux de surface et d'autre part ceux relatifs à l'insertion de ces résultats dans le cadre comptable lui-même. Les bases méthodologiques rapportées sont résumées et commentées à partir du rapport de la Commission interministérielle des Comptes du patrimoine naturel, déjà cité.

RAPPEL SUR LA QUALITE DES EAUX

La qualité exprime un état de l'eau qui, de surcroît, n'est pas mesurable en tant que tel, car dépourvu d'équation aux dimensions. Elle est définie plus précisément comme *l'aptitude de l'eau, déterminée par ses caractéristiques physiques, chimiques, biotiques ou organoleptiques, à servir à un usage défini ou à permettre le fonctionnement d'un milieu aquatique donné* (MARGAT, 1995).

La qualité des eaux est donc appréciée au travers de caractéristiques particulières, le plus souvent, mais improprement appelées « paramètres » et qu'il serait plus correct de baptiser « caractéristiques » ou « déterminants » à partir du moment où la qualité est déterminée par un certain nombre de caractéristiques, qui se rapportent à un usage ou à une fonction du milieu aquatique, il y a autant de qualités possibles d'une même eau qu'il y a d'usages ou de fonctions.

Cette diversité des appréciations de la (des ?) qualité(s) de l'eau a été bien prise en compte par le nouveau système d'évaluation de la qualité des eaux, le SEQ, développé par le ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement et les Agences de l'eau (OUDIN and MAUPAS, 1999). Les particularités du SEQ qui contribuent à permettre le développement d'index global de la qualité (qu'il ne faut pas confondre avec une appréciation de la qualité générale, qui se réfère à tous les usages et fonctions, considérés ensemble) sont examinées dans les sections correspondantes de ce travail.

PRINCIPES DE LA METHODE PRECONISEE PAR LA CICPN⁽¹⁾

La comptabilité des eaux en qualité impose d'apporter une réponse précise aux trois questions suivantes :

- Quel est l'objet sur lequel portent les Comptes en qualité ?
- Quel est le support et le type de grandeur du système « eau » qui est compté ?
- Quel est l'indicateur de qualité pertinent pour le comptage ?

¹ CICPN : Commission interministérielle des Comptes du patrimoine naturel.

Error! Style not defined.

Objet des comptes en qualité

Bases théoriques

Par principe, les Comptes doivent chiffrer le passage d'un état initial à un état final. Compte tenu de la nature même du concept de « qualité des eaux », on ne peut donc compter que :

- des volumes d'eau bien définis et caractérisés par une qualité ou
- des grandeurs dérivées, élaborées spécialement, notamment celles définies en application du principe de conversion⁽²⁾.

La structure des Comptes en volume d'eau, différenciés par leur qualité, s'apparente aux comptes en volume et notamment à leur compte central, avec ses tableaux d'entrée-sortie et les matrices d'échanges entre agents. Si on applique cette méthode aux comptes en qualité, les tableaux entrée-sortie deviendraient des matrices à 3 dimensions, la troisième étant la qualité. Dans ce cas, une grande difficulté, pour ne pas dire une difficulté insurmontable, est la combinaison de volumes d'eau de qualités différentes, opération au cœur des opérations des tableaux d'entrée-sortie. Or, les indicateurs de la qualité ne peuvent pas être agrégés.

Dans les seuls cas où la qualité est établie à partir de la teneur en éléments chimiques dissous et conservatifs (chlorure, par exemple), on pourrait envisager de procéder à des calculs de dilution puis d'estimer à nouveau la qualité du volume final en comparant la teneur théorique à des valeurs de référence, par exemple celles du SEQ-Eau (OUDIN and MAUPAS, 1999). Toutefois dans les cas où les valeurs des déterminants de la qualité sont dues à des processus non linéaires et non conservatifs, ce qui est le cas général, cette manière de procéder serait théoriquement discutable et pratiquement infaisable. De ce fait, $x \text{ m}^3$ d'eau de qualité A et $y \text{ m}^3$ d'eau de qualité B donnent $(x+y) \text{ m}^3$ d'eau dont la qualité peut être définie.

Cette impossibilité pratique d'application ne doit pas toutefois faire évacuer l'objectif idéal qui serait de connaître l'état de qualité de la totalité des volumes s'étant écoulés au cours d'une certaine période de temps. Si le volume écoulé peut, en principe, être évalué, il n'en est pas de même pour la qualité des volumes élémentaires qui se sont succédés au cours du temps d'écoulement.

L'affectation d'une référence de qualité dépend, au moins au plan théorique, de la définition retenue pour l'attribution de cette référence de qualité au volume d'eau considéré. Il n'est pas possible dans ce cas d'utiliser des méthodes analogues à celles servant à établir des valeurs de flux de substance ou de chaleur, puisque les différents états possibles de la qualité d'une eau sont déterminés par des dépassements de seuils au cours de la période d'observation et qu'ils sont donc par nature non agrégeables. De ce fait, une approche continue des comptes n'est pas non plus réalisable en pratique.

Une alternative a été envisagée par les auteurs, consistant à remplacer le *compte en qualité* par un *compte en facteurs de qualité*.

Ce type de compte se rapproche davantage d'un compte d'émission ou d'un compte de débit massique⁽³⁾ que d'un compte en qualité. Il considère en effet des substances pouvant déterminer la

² Des unités converties permettent de compter ensemble des objets différents, mais présentant des propriétés communes qui servent à la conversion. Des unités comme la tonne équivalent-pétrole (TEP), l'unité gros bovin (UGB), l'équivalent-habitant (EqH) sont des exemples communs de telles unités converties.

³ Pour éviter la confusion entre *flux* (par opposition à *stock*) et quantité de substance véhiculée par un cours d'eau ou un émissaire quelconque, le terme « débit massique », par opposition à « débit liquide » sera utilisé, sauf si aucune confusion

Error! Style not defined.

qualité, matières oxydables, nitrate, etc., par exemple. Cette option ne sera pas envisagée ici. Elle pose des problèmes insolubles de signification des déterminants pris en considération et d'établissement de leurs valeurs numériques, même si on faisait l'impasse sur la signification des choix.

Supports et types de grandeurs de comptes en qualité réalisables

Ajustements pratiques

Les difficultés théoriques peuvent être surmontées en pratique en substituant aux comptes en volume ou aux comptes en facteurs, un compte portant sur la ventilation en classes de qualité d'une grandeur caractéristique du cours d'eau. Cette approche réaliste des comptes en qualité est présentée ici en mettant en évidence les difficultés et en indiquant les simplifications apportées à la méthodologie de base, ainsi que les restrictions introduites dans la pertinence des résultats.

Les ajustements apportés tiennent compte principalement de la disponibilité de données. Dans les cas pour lesquels des données sont au moins accessibles, elles comportent en général une seule valeur de la qualité pour la totalité de la période de référence. Ceci résulte de la définition la plus fréquente retenue pour établir la qualité d'une eau, à savoir la classe correspondant au percentile 90% des observations de l'année⁽⁴⁾. La ventilation de cette valeur unique en fonction d'un indicateur d'importance des cours d'eau constitue donc le cœur de la méthode praticable pour l'élaboration des comptes en qualité.

Le rapport de la CICPN prévoit deux supports pour les comptes : les comptes de flux et les comptes de stock. Les auteurs ont bien souligné que si les comptes de stock s'appliquent bien aux eaux stagnantes (lacs et réservoirs, eaux souterraines, glaciers, etc.), en revanche, seuls les comptes de flux paraissent pertinents pour les eaux de surface. La durée de renouvellement des eaux dans les rivières est en effet extrêmement courte.

Ceci s'explique directement par la vitesse v d'écoulement des eaux, dans la gamme de 5 cm.s^{-1} à 3 m.s^{-1} et indépendamment du débit. Dans une section d'écoulement s (perpendiculaire à l'axe de la rivière, il coule en effet un débit $Q=s \times v$.

Un volume V d'eau est donc renouvelé en un temps $t=V/Q$. Si l'on prend des valeurs unitaires de surface et de volume, le temps t est numériquement l'inverse de la vitesse v . Pour les valeurs de la fourchette de vitesse, on a des temps de renouvellement de l'eau de 6 heures à $\frac{3}{4}$ d'heure par kilomètre de cours d'eau.

n'est possible. La notion de « flux » traitée dans les Comptes est totalement différente de la notion de flux utilisée par les hydrologues et qui traite du débit massique véhiculé par un cours d'eau.

⁴ En pratique, on classe les valeurs mesurées en ordre croissant et on élimine les 10% de plus mauvaises. Dans le cas fréquent où 10 à 12 mesures sont disponibles chaque année, on élimine la pire de la série. Si moins de 10 mesures ont été réalisées, la totalité des données est conservée.

Error! Style not defined.

C'est donc à cette difficulté particulière que le plus d'attention a été portée, puisqu'il s'agit de réaliser des comptes sur des systèmes à faible stock et à grand flux très variable, de manière à surmonter le dilemme :

- soit réaliser des comptes se référant à des *stocks*, certes additifs, mais peu représentatifs de la qualité (volume total écoulé pendant la période),
- soit réaliser des comptes se référant à des *flux*, alors non additifs, mais dont la qualité peut être définie.

Pour cela, des palliatifs ont été envisagés, en considérant les longueurs de cours d'eau ou la superficie en eau. Les longueurs présentent un biais important. Les principaux cours d'eau, qui véhiculent l'essentiel du débit liquide (~90% du stock instantané), ne représentent qu'environ 4% de la longueur totale des cours d'eau. Par ailleurs, la disponibilité des données de qualité ne permet que de comparer des états annuels, donc analogues à des stocks.

De ce fait les experts de la CICPN ont introduit la notion de *kilomètre cours d'eau normalisé*, (kmcn). Le « kmcn » est une unité de conversion choisie pour représenter les cours d'eau, proposée par des auteurs norvégiens (HELDAL and ØSTDAHL, 1984). Un kmcn représente aussi bien une portion de cours d'eau de 1 km de long, où s'écoule $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ qu'une portion de 2 km de long où coulent $0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

L'unité « kmcn » paraît au premier abord arbitraire et sans signification physique ; sa dimension est en effet L^4T^{-1} . Les promoteurs de cette unité ont toutefois fait justement remarquer qu'en considérant que l'eau a une densité sensiblement constante et égale à $1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, un kmcn est en fait une masse d'eau dont la quantité de mouvement est $10^7 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$. Le kmcn est donc une manière simple d'approcher la valeur du moment cinétique de l'eau, puisque son écoulement est canalisé par le lit de la rivière, et peut donc être considéré comme un vecteur. Une dénomination alternative à kmcn, « UMEC » (unité de mesure des eaux courantes) a été proposée par Jean MARGAT (MARGAT, 1996) mais bien que plus évocatrice, elle n'est pas d'usage courant. Le terme de kmcn sera donc conservé dans le travail présenté ici.

A l'origine toutefois, la notion de kmcn n'a pas été développée pour réaliser des Comptes mais pour définir une modalité de stratification des cours d'eau afin d'y implanter des programmes d'observation représentatifs.

Cette option, qui n'est pas praticable compte tenu de l'indisponibilité présente des données, n'a pas été envisagée dans la première approche de définition des réseaux représentatifs dans le cadre EUROWATERNET par l'Ifen (LEONARD and CROUZET, 1999). Cette prise en compte est envisagée dans l'étude du réseau représentatif, dite de « phase 2 », qui doit définir la totalité des indicateurs de représentativité avant la fin de l'année 2000. On évoquera donc une application réciproque de la définition des réseaux représentatifs, telle qu'ils sont actuellement en cours de constitution, pour améliorer la portée des Comptes en qualité.

Principes retenus

Enfin, l'adoption des kmcn comme unité de base pour la construction des Comptes en qualité amène à redéfinir leur désignation en « comptes de qualité des cours d'eau », abrégés en « Comptes en qualité ».

Cette méthode permet donc de réaliser des comptes de stock, donc agrégeables, mais tenant néanmoins compte des quantités effectivement écoulées.

Error! Style not defined.

En posant comme hypothèse qu'une référence pertinente de débit a été choisie, on observe que la quantité exprimée en kmcn est l'intégrale de la courbe débit – distance aux sources. Cette intégrale a donc une valeur finie et constante pour un cours d'eau et une référence de débit. On vérifie facilement que l'amélioration de la précision dans le découpage des tronçons de cours d'eau et la connaissance de leur débit de référence permet de tendre rapidement vers cette valeur optimale.

L'application d'une méthode basée sur le kmcn impliquerait en principe de délimiter dans chaque cours d'eau des biefs⁵) homogènes du point de vue hydrologique (débit constant à la tolérance d'estimation près). Dans ce cas, un bief est un segment de cours d'eau suffisamment court, sans confluence notable, sans prise ou rejet d'eau significatif et sans rejet polluant susceptible d'altérer la qualité de ses eaux entre l'origine et l'extrémité du segment. Différentes approches sont envisagées dans le rapport relatif aux Comptes de ressource (CROUZET, 1999).

Dans la réalité, cette situation ne peut exister que dans un canal de navigation par exemple. En pratique, on utilise des méthodes plus ou moins dégradées, qui sont toutes basées sur un découpage en tronçons à partir des données cartographiques et des autres éléments disponibles.

L'obtention de ces informations est une tâche particulièrement complexe qui requiert donc la mobilisation et la constitution d'un nombre considérable de données. Pour pallier cette difficulté, un modèle beaucoup moins contraignant, mais bien évidemment simplifié, a été développé à titre d'essai pilote.

METHODE SIMPLIFIEE

Objectifs

Les objectifs de la méthode simplifiée sont :

- de produire des Comptes en qualité dans chaque bassin versant RNDE (Cf. « Ajustements méthodologiques » ci-après), agrégeables au niveau national, en utilisant la pondération des qualités par la grandeur kmcn, de manière à ce que cet essai pilote reste compatible avec des développements ultérieurs faisant appel à la méthode de base,
- de réaliser ces Comptes à partir des seules données rapidement mobilisables, de manière à les produire au coût minimum, dans le cadre d'un essai pilote,
- de produire également des éléments d'évaluation de manière à permettre un jugement quant à l'opportunité de constituer les jeux de données nécessaires à la production de Comptes, selon une méthode plus orthodoxe que la méthode simplifiée, et agrégeables selon des unités géographiques différentes.

⁵ La convention de vocabulaire est prise de telle manière que « bief », qui désigne un segment de cours d'eau supposé homogène du point de vue hydrologique, est retenu pour nommer une section de cours d'eau réel. Le mot « tronçon », qui est neutre, désigne la représentation du bief sur une carte ou dans une base de données.

Error! Style not defined.

Ajustements méthodologiques

Unité d'agrégation

L'IFEM a proposé et développé, dans le cadre du RNDE, un découpage du territoire métropolitain en 55 grands bassins versants, basé sur la codification hydrographique. Ces bassins, dits « bassins versants RNDE » sont la base des statistiques nationales sur les eaux de surface. Chaque bassin RNDE est caractérisé par un code numérique de quatre chiffres, les deux premiers rappelant l'appartenance du bassin à l'une des 6 Agences de l'Eau. Chaque bassin a une superficie comprise entre 6 000 et 13 000 km².

Le bassin versant du RNDE a été retenu comme unité d'agrégation des kmcn sur lesquels portent les comptes.

Principes des ajustements réalisés en fonction des données disponibles

La méthode de base implique de calculer les quantités kmcn par bief homogène. Pour cela, il faut donc définir des biefs et leur affecter un débit de référence. Enfin, il faut pouvoir attribuer à chaque bief la qualité qui le définit.

Or, les seules données disponibles au moment de la réalisation des comptes pilotes sont des cartes linéaires de la qualité des eaux publiées par le RNDE (RNDE, 1993b ; RNDE, 1996a ; RNDE, 1996b ; RNDE, 1996c). Ces cartes ne comportent pas les informations permettant d'identifier les cours d'eau. Il n'est donc pas envisageable de définir des biefs homogènes. Partant de là, on ne peut pas affecter un débit à ces biefs qui n'existent pas.

On a donc renversé le problème en considérant l'ensemble des longueurs d'une certaine couleur (donc d'une certaine qualité) par classe de taille de cours d'eau dans chaque bassin versant RNDE. A partir de là, il a été possible, moyennant des hypothèses simplificatrices sur la productivité hydrologique des différentes classes de cours d'eau, de leur affecter un débit de référence permettant de calculer la valeur agrégée de kmcn pour chaque classe de cours d'eau, pour chaque classe de qualité dans le bassin versant considéré. On définit de ce fait des pseudo-tronçons qui recouvrent plusieurs biefs. Cette approximation est correcte dans la mesure où la composante « débit » de la grandeur kmcn peut être considérée comme suffisamment constante sur l'ensemble de la longueur du pseudo tronçon de qualité unique. Une analyse de sensibilité et un exemple sont donnés dans la section suivante.

Dans le cadre de la méthodologie simplifiée, un seul débit de référence peut être calculé commodément, le débit moyen interannuel (module interannuel). Cette référence est heureusement celle recommandée dans le document de la CICPN.

Ce choix présente l'avantage de ne nécessiter, en principe, qu'un calcul unique pour chaque classe de taille de cours d'eau par bassin versant RNDE. Au maximum donc, ce sont $55 \times 4 = 605$ estimations de modules seulement qui sont à réaliser pour la France.

Le total des kmcn de chaque classe de cours d'eau, pour chaque BV RNDE étant ainsi établi, il est ventilé en fonction des longueurs de chaque classe de qualité. Cette ventilation se fait bien évidemment au sein de la classe de taille de cours d'eau considérée, bassin versant par bassin versant. Le détail des hypothèses et des équations de calcul est reporté dans la section traitant des résultats.

Error! Style not defined.

Les problèmes fondamentaux suivants ne sont toutefois pas encore résolus :

- le module est-il la bonne référence de débit pour tous les indicateurs de la qualité ? Faut-il au contraire différencier l'indicateur débitmétrique en fonction du type de perturbation de la qualité (valeur de hautes eaux pour le nitrate, de basses eaux pour l'eutrophisation, etc.) ?
- est-il pertinent de ne pas tenir compte de l'hydraulicité réelle de l'année pour laquelle la qualité est comptée ou faut-il au contraire appliquer à chaque compte d'une année la référence de débit de l'année considérée, sachant notamment que la qualité des eaux est déterminée à la fois par les rejets polluant et par le débit, qui conditionne la dilution et l'autoépuration ?
- dans le cas d'utilisation de références de débit différenciées, sera-t-il licite de comparer des états annuels, pour le même indicateur de qualité ou pour des indicateurs différents, et si oui, comment procéder ?

Constitution d'un index global de qualité

Compte tenu des remarques précédentes, et de l'impossibilité de définir (avec les données disponibles) des tableaux *classes de qualité – sections homogènes*, une autre forme de tableau a été définie, de la forme *classes de qualité – groupes homogènes de taille de cours d'eau*.

Enfin, les comptes en classes de qualité ne permettent pas a priori le calcul d'un index global. Une approche par pondération (Cf. §3.5.1.2 (CICPN, 1986)) a également été réalisée, sans toutefois que la valeur affectée au poids de chaque classe soit établie sur une base indiscutable. Cette question de la pondération des classes, ou d'une approche équivalente permettant de définir un « index global » de qualité semble toutefois devoir être approfondie. Elle est donc abordée dans le chapitre final sur les ouvertures vers une amélioration de la méthode applicable à moyen terme pour la réalisation de comptes en quantité.

Ces résultats étant acquis, les agrégations à d'autres niveaux sont possibles, sous réserve qu'ils soient une réunion de plusieurs bassins versants. Aucune agrégation relative à des entités administratives n'est évidemment possible dans le cadre de la méthode simplifiée.

On remarque que les chiffres de kmcn, ventilés par classe de qualité sont finalement la *quantité de classe de qualité* présente dans un bassin. L'idée de calculer une *classe moyenne de qualité* est donc une suite logique à cette remarque.

Pour cela, on peut simplement calculer cette valeur en affectant des valeurs de pondération p_1 , p_2 , etc., respectivement à la classe 1, 2, etc. A la fin du calcul, on obtient un résultat qui dépend des critères choisis pour affecter les valeurs numériques à p_1 , p_2 , etc. :

- dans les premiers traitements réalisés, on a affecté 1, 2, etc. On obtient alors le numéro moyen de classe de qualité, qui n'est pas homologué à la classe moyenne de qualité, sauf à considérer que leurs bornes sont équidistantes ;
- le document de référence de la CICPN propose des valeurs de pondération notablement différentes. En recalculant ces valeurs selon une progression du meilleur au pire, les pondérations sont respectivement 1, 1.25, 2.5, 5, au lieu de 1, 2, 3, 4, 5 dans le cas présenté ci-dessus ;

Error! Style not defined.

- la méthode d'évaluation des classes de qualité est désormais basée sur des altérations du SEQ qui suit une progression régulière. Les classes sont en effet définies à partir d'un index continu d'altération, variant de 1 à 100. Les 5 classes sont définies par les bornes 20, 40, 60 et 80 ;
- en considérant les centres de classes, on aurait les pondérations 10, 30, 50, 70 et 90 ou 1, 3, 5, 7 et 9, soit une progression de terme 1 et de raison 2 au lieu d'une progression de terme 1 et de raison 1 telle que retenue dans les calculs présentés en premier.

L'incidence du choix d'un mode de pondération et de sa justification sera envisagée dans la discussion des résultats et dans le chapitre traitant des améliorations à moyen terme.

SCHEMA COMPTABLE

Le schéma comptable comporte deux entités majeures, qui peuvent être déclinées par unité élémentaire de compte (les bassins versants RNDE) ou agrégées à des niveaux supérieurs, notamment à la France métropolitaine. Ces entités sont le tableau de synthèse et le compte central.

Le tableau de synthèse du compte central

Le tableau de synthèse est le produit immédiat de la méthodologie décrite précédemment. Il se présente donc sous forme d'un tableau de différences de stock.

Tableau 1 : Tableau-type de synthèse de la qualité des eaux (altération x) - France métropolitaine ventilé par groupe de taille de cours d'eau

Groupe de cours d'eau	Etat 1992						Différences par classe de qualité						Etat 1994					
	1A	1B	2	3	HC	Σ	D1A	D1B	D2	D3	DHC	Σ	1A	1B	2	3	HC	Σ
Fleuves	a	e					(a'-a)						a'	e'				
G. rivières	b						(b-b')						b'					
Rivières	c												c'					
Ruisseaux	d				t						(t'-t)		d'				t'	
Ensemble	a+b+c+d												a'+b'+c'+d'					

Dans le tableau-type présenté ci-dessus, les valeurs sont en kmcn (ou un multiple selon les valeurs numériques). Si une référence débitométrique identique a été prise, alors les sommes (a+b+c+...+t) et (a'+b'+c'+...+t') sont identiques. Les colonnes indiquées Σ contiennent la somme des kmcn du groupe de taille des cours d'eau, toutes qualités confondues.

Un tableau de synthèse est fourni dans ce rapport, en prenant l'altération « matières organiques et oxydables » comme indicateur de qualité (Tableau 7, page 41).

Le format de restitution du tableau de synthèse est indépendant de la méthodologie de calcul. Il est en revanche évident qu'il est nécessaire de calculer les états initial et final avec la même méthodologie.

Error! Style not defined.

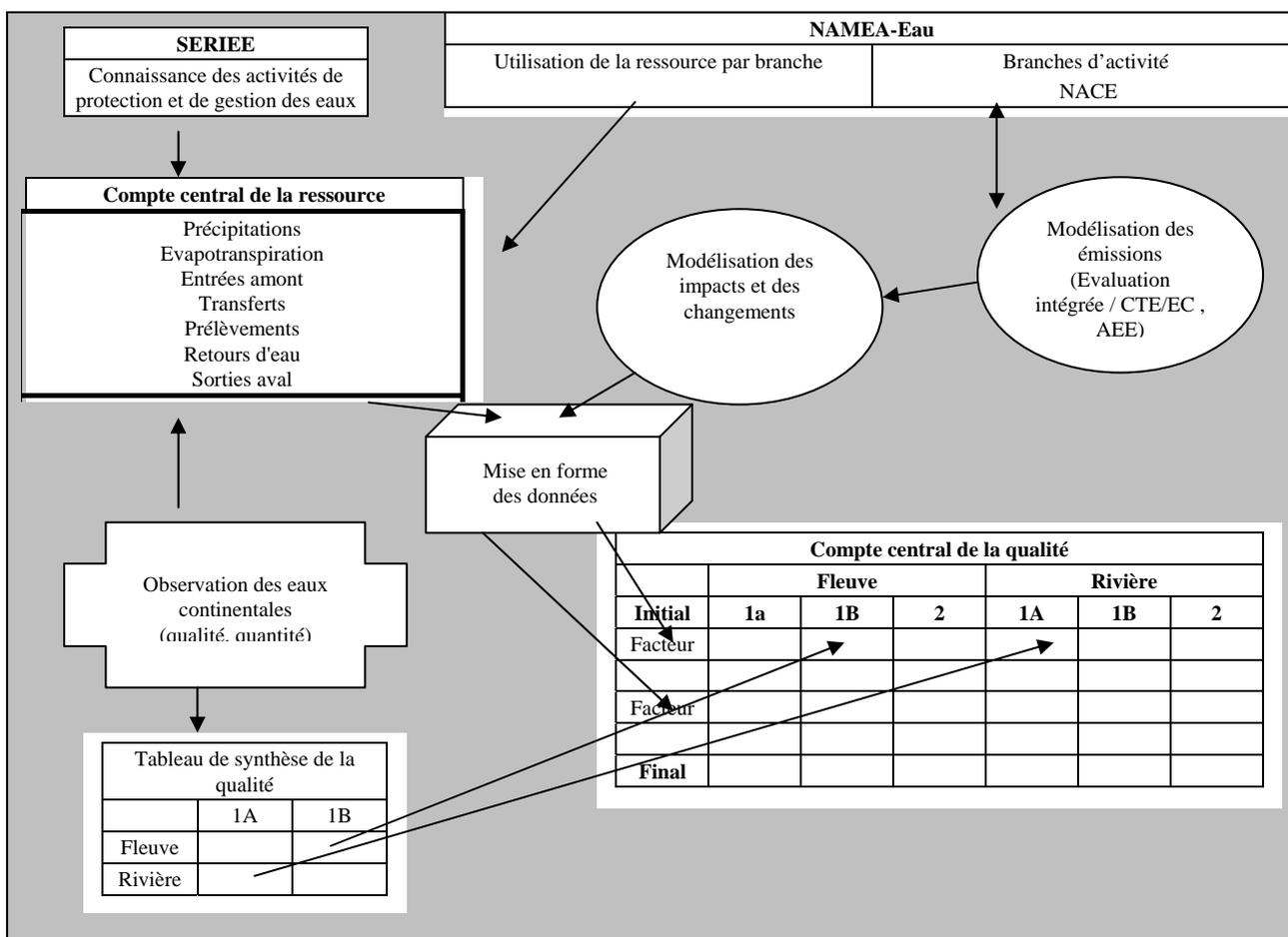
Le compte central

Le compte central situe les évolutions exprimées par le tableau de synthèse en fonction des changements dus à des décisions économiques d'une part et à des causes naturelles ou multiples d'autre part. Il est dépendant du compte central de la ressource et les comptes économiques. Dans l'état actuel, la réalisation de ce compte n'est pas envisageable. Sa réalisation impliquerait d'affecter des variations de la qualité à des causes de changement, dont la seule quantification est encore incertaine.

Les relations fonctionnelles entre le compte central et le tableau de synthèse sont schématisées dans le graphique suivant. Un plus grand détail de contenu, encore expérimental, est proposé en Annexe 1.

Ce schéma exprime la position privilégiée du tableau de synthèse, qui est en relation directe avec les systèmes d'observation. On n'a pas placé de figuré particulier pour le compte satellite de la ressource, le détail de l'organisation des calculs n'étant pas achevé. Il est toutefois vraisemblable qu'une procédure analogue à celle suivie ici sera définie.

Figure 1 : Relations schématiques entre le compte central et le compte satellite de la qualité des eaux avec les autres entités des comptes



La réalisation du compte central requiert donc la réalisation préalable du tableau de synthèse, dont la méthode simplifiée est exposée dans ce rapport, puis l'évaluation des causes de changement dont les sources sont multiples. En particulier, le compte NAMEA-Eau, qui peut se raccorder aux comptes satellites agrégés au niveau national, ne peut représenter qu'une valeur de cadrage à l'échelle des bassins versants RNDE.

Error! Style not defined.

Or, c'est à cette échelle que les comptes en qualité sont les plus riches d'enseignement.

De ce fait, c'est vers d'autres sources d'information qu'il faut se tourner. L'essentiel des facteurs déterminants de la qualité sont les rejets polluants et le débit qui assure une dilution. Les éléments d'information à raccorder au tableau de synthèse, en vue de la constitution du compte central, sont d'une part l'évaluation intégrée des émissions et d'autre part la base de données hydrométrique du compte en ressource. Cette dernière base, qui est décrite dans un autre rapport (CROUZET, 1999)⁶, a été conçue de telle manière qu'elle soit la pierre angulaire de toutes les applications nécessitant une information débitmétrique.

De son côté, l'application d'évaluation intégrée des émissions, conduite par l'Ifen dans le cadre du projet pilote français de constitution du système d'évaluation intégré des émissions conduit par le Centre thématique européen des eaux continentales de l'AEE (CTE/EC), a été construite de manière que des restitutions compatibles avec les besoins de construction du compte central soient possibles.

Le projet pilote est en cours d'achèvement et fait l'objet de communications dans deux rapports distincts, portant respectivement sur le projet européen et sur le projet pilote conduit en France (LEBLANC and CROUZET, 1999), (CROUZET et al., 1999).

⁶ Publication prévue pour la fin de l'année 1999.

APPLICATION DE LA METHODE SIMPLIFIEE

LES SOURCES DE DONNEES « QUALITE » UTILISEES

L'origine et le contenu informatif des sources

Le RNDE a publié plusieurs jeux de cartes de qualité linéaires des rivières. Ces cartes ont été réalisées dans un double but de valorisation des données existantes et de pédagogie. La question de la validité des procédures utilisées par le RNDE pour produire des cartes linéaires en se basant sur les données ponctuelles issues de l'exploitation du réseau national de bassin (RNB) n'est pas discutée ici. Il faut toutefois remarquer que les 3 dernières cartes ont été élaborées en utilisant la procédure SEQ-eau d'appréciation de la qualité des eaux en fonction d'altérations bien définies.

Cette méthode de travail sera mise à profit pour la définition d'index généraux de la qualité et la comparaison entre des qualités appréciées à partir d'altérations de nature différente.

Les cartes prises comme sources de données n'ont toutefois aucunement été conçues pour permettre une exploitation statistique et comptable. En particulier, la constitution des fichiers cartographiques associés a été réalisée dans le seul but de produire des cartes papier.

Les cartes de qualité linéaires du RNDE ont en effet deux formats de restitution. Le premier est une *carte papier* et le second une *couverture* en format Arc Info®. Les principales informations contenues dans les fichiers composant la couverture sont les suivantes :

- la longueur en mètres de chaque segment de dessin, ne comportant qu'une seule couleur, représentant une classe de qualité. Ce segment, qui ne tient pas compte des confluences par exemple, n'est en aucun cas assimilable à un bief ;
- le type hydrologique du segment de dessin (RIVière, CANal ou LAC) ;
- la classe de taille du cours d'eau auquel appartient le segment de dessin, en quatre classes (de 1 le plus grand cours d'eau, à 4 le plus petit). Cette classe peut prendre plusieurs valeurs depuis la source jusqu'à l'embouchure d'un cours d'eau, au sens commun du terme. De ce fait, les parties amont des plus grands cours d'eau sont codées en classe 3 ou 4, ce qui correspond à la réalité hydrologique ;
- la classe de qualité, de 1 à 5 et, selon les cartes, 0 ou 9 pour les segments non renseignés.

En croisant cette couverture avec celle des limites des bassins RNDE, on ajoute à la table de définition de la couverture de base l'identifiant du bassin RNDE dans lequel se situent les cours d'eau de la carte. Les informations directement calculables sont donc, pour chaque bassin versant RNDE, la longueur de cours d'eau de chaque groupe de taille et par classe de qualité ou non renseigné.

Une reproduction, à petite échelle, des cartes utilisées est portée en Annexe 4.

Error! Style not defined.

Les traitements correctifs appliqués sur les sources de données

La préparation des données pour permettre leur utilisation dans le cadre des Comptes en qualité a montré deux difficultés. La première porte sur les rectifications impliquées par l'usage différent de l'objectif de réalisation des cartes, la seconde est la correction des erreurs dans l'affectation des classes de qualité :

S'agissant du premier type de correction, on note :

- que la couverture associée à la carte de l'état 1994 (RNDE 1993a) a été réalisée sur une carte dont la projection et les tables associées ne sont pas compatibles avec les cartes publiées ultérieurement. Une conversion totale de la couverture a donc dû être effectuée⁽⁷⁾ ;
- que toutes les cartes, sans exception, publiées en 1996 {(RNDE, 1996c),(RNDE, 1996a), (RNDE, 1996b)} comportent des surcharges, des doubles ou triples traits sur un même objet qu'il a fallu éliminer segment à segment. Ces surcharges portent sur la représentation des rives de la majeure partie des grands fleuves, la représentation des îles dans ces mêmes grands fleuves et celle des plans d'eau, elles sont inhérentes à la technique choisie pour l'impression des cartes sur papier ;
- que le code définissant l'absence de classe de qualité peut être à 0 ou 9 selon les cartes.

S'agissant enfin des erreurs dans l'affectation des classes de qualité, on note :

- que la carte d'eutrophisation 1996 comporte des anomalies manifestes d'affectation des classes d'eutrophisation dans certains cours d'eau de la circonscription de bassin Seine-Normandie. Une correction a été conduite en réévaluant les classes de qualité à partir de données en provenance du PIREN-Seine (MEYBECK et al., 1998). Les informations communiquées par l'Agence de l'eau Seine-Normandie à ce sujet ont confirmé la réalité de ces anomalies, dues à des valeurs erronées transmises par le laboratoire chargé des analyses. Toutefois, les corrections n'ont été appliquées que sur des cours d'eau pour lesquels une information objective était disponible. Elles ne concernent donc pas la totalité du bassin Seine-Normandie, qui apparaît de ce fait comme étonnamment protégé de l'eutrophisation.

De ce fait, malgré le soin apporté aux corrections, principalement les surcharges, la longueur totale de cours d'eau n'est pas exactement la même d'une carte à une autre.

Tableau 2 : Longueur des cours d'eau (totale et renseignée) des fichiers associés aux cartes du RNDE utilisées pour la réalisation du pilote des comptes en qualité

Carte considérée	Longueur totale de cours d'eau (km)	Longueur avec une classe de qualité (km)
Qualité générale (équivalant à matières oxydables) (RNDE, 1993a)	69 239	55 537
Qualité matières oxydables (RNDE, 1996b)	76 347	37 834
Qualité nitrate (RNDE, 1996c)	76 628	32 024
Proliférations végétales (eutrophisation) (RNDE, 1996a)	76 544	32 705

Source : Ifen, à partir des couvertures RNDE.

⁷ Prestation réalisée par ARP Reprographie - 5, rue des Frères Lumière, 45800 St-Jean-de-Braye, en juillet 1998.

Error! Style not defined.

Erreurs non quantifiables

La base de données des cartes de qualité linéaires publiées par le RNDE comporte une indication de taille des cours d'eau qui ne présentent pas de relation évidente avec la codification hydrologique. L'origine de la donnée est vraisemblablement l'IGN qui a produit le fond de carte initial.

Cet état de choses induit pourtant une part d'erreur difficilement quantifiable, puisque premièrement cette information n'est pas disponible pour tous les cours d'eau, et que, deuxièmement, elle semble être erronée pour un certain nombre.

Enfin, dans la base de données, certaines sections des cours d'eau ont été doublées pour une question de représentation graphique. Malgré une correction apportée, un certain nombre de segments parasites est susceptible de subsister. De ce fait le kilométrage des cours d'eau comportant de telles sections ne pourra être sûr et va donc entraîner des erreurs non évaluables.

METHODE D'EVALUATION DES kmcn PAR PSEUDO-TRONÇON DE CALCUL

Le principe retenu dans la méthode simplifiée consiste en fait à remplacer plusieurs biefs, dont chacun possède une longueur, un débit de référence et une classe de qualité, par un pseudo-tronçon⁽⁸⁾ unique caractérisé par la longueur occupée par chacune des classes de qualité, dans une classe de taille de cours d'eau donnée. Ce principe de répartition par classe de taille étant une constante de l'approche, cette précision ne sera plus donnée ultérieurement.

Or, le pseudo-tronçon unique ainsi défini (et qui est le seul pour lequel on dispose d'une donnée de qualité) est physiquement constitué d'un grand nombre de biefs de rivières. Toutefois, la nature de la base de données disponible ne permet pas de discriminer ces rivières. On doit donc rechercher un débit caractéristique de cet ensemble de rivières, qui est en fait une approximation du débit moyen écoulé par la classe de rivières en question. Ces classes sont au maximum de quatre par bassin versant. Leur définition ne fait intervenir que la taille des cours d'eau, fournie dans la couverture cartographique : celle regroupant les petits cours d'eau, celle des moyens, celle des grands et enfin des très grands du type fleuve.

Cette méthode est donc une approximation de la méthode de base, en recherchant une valeur de débit de référence telle que :

$$\text{Équation 1 : } \bar{Q} \times \sum_{t=1}^n L_t = \sum_{b=1}^m (Q_b \times L_b), \text{ avec } \sum_{t=1}^n L_t = \sum_{b=1}^m L_b$$

L'Équation 1 exprime que la somme des kmcn calculés bief par bief (index b) est égale au kmcn total calculé comme un débit moyen appliqué à l'ensemble des tronçons de calcul, indexés par t . La contrainte supplémentaire, évidente, est que la longueur cumulée de tous les biefs (découpe de la rivière réelle) est égale à la somme de la longueur des tronçons de calcul (découpe arbitraire, ici basée sur les différentes classes de qualité).

⁸ Le terme de pseudo-tronçon est choisi pour distinguer ces ensembles de segments de cours d'eau des tronçons qui seront définis dans le cadre d'une approche hydrologique rigoureuse afin de représenter au plus près les biefs physiques, définis antérieurement.

Error! Style not defined.

Les différences entre la méthode de base et la méthode simplifiée sont illustrées dans les deux schémas suivants.

Figure 2 : Découpage d'un réseau hydrographique en biefs homogènes utilisés dans la méthode de base

Error! Objects cannot be created from editing field codes.

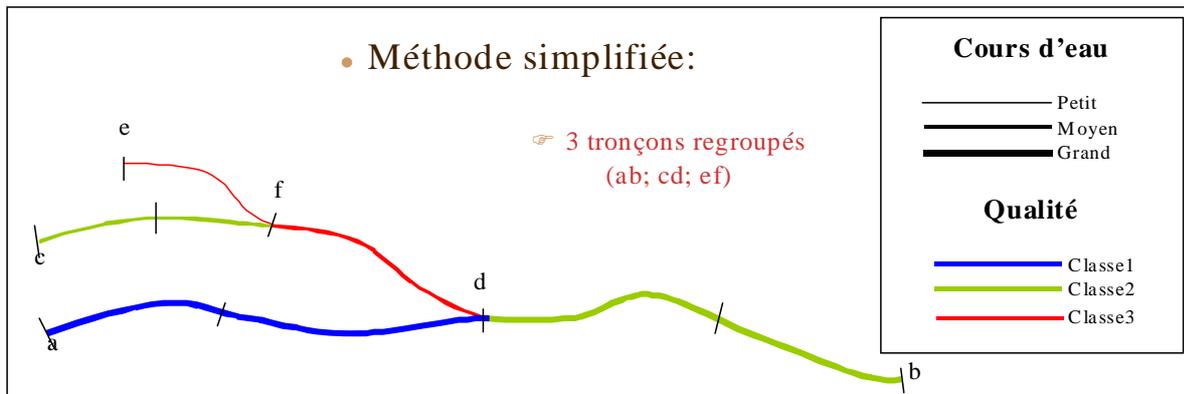
Légende : la numérotation des tronçons a été portée dans l'exemple en tenant compte de l'écoulement des eaux et des rangs de confluences. Le sens d'écoulement est donc 1, 2 qui se jettent dans 7, 8 ; 3, 4 grossi de 5 forment 6 qui conflue avec 2 pour former 7.

Dans le cas de la méthode de base, les données topographiques et débitmétriques sont disponibles. Chaque tronçon (1, 2, ..., 8) du schéma de la Figure 2 possède donc une longueur (l_1, l_2, \dots, l_8) et un débit (Q_1, Q_2, \dots, Q_8). On connaît également la classe de qualité de chaque tronçon. La valeur du total des kmcn pour la classe de qualité 2, par exemple, est :

$$\text{Équation 2 : } kmcn_{c2} = \sum_{b=3,4,7,8} (Q_b \times L_b)$$

Dans le cas de la méthode simplifiée, les données disponibles ne comportent pas les informations topographiques et débitmétriques nécessaires à l'application de la méthode de base. Ce cas est illustré par le schéma de la Figure 3.

Figure 3 : Regroupement des biefs en pseudo-tronçons utilisés pour la méthode simplifiée



Dans ce cas, on sait seulement que {a-b}, {c-d} et {e-f} sont respectivement des grands, moyens et petits cours d'eau. On connaît la longueur de chacun d'eux et la longueur affectée d'une certaine valeur de qualité.

Si on pose comme hypothèse simplificatrice que les débits respectifs de {1-4}, {5-7} et {8} sont constants et correspondent à Q_{ab} , Q_{cd} , Q_{ef} (débits caractéristiques théoriques), on peut obtenir par classe de qualité un indice global de dimension kmcn, d'ordre de grandeur comparable à celui obtenu par la méthode normale.

Error! Style not defined.

Le calcul de cet indice pour la qualité de classe 2 devient par conséquent :

Équation 3 : Calcul d'un kmcn, méthode simplifiée

$$kmcn'_{Classe2} = Q_{ab} \times (l_{db}) + Q_{cd} \times (l_{cf})$$

où ab , db , etc., représentent les segments de cours d'eau de la Figure 3.

DETERMINATION DES DEBITS CARACTERISTIQUES PAR PSEUDO-TRONÇON

Choix du point de calcul du débit caractéristique du pseudo-tronçon

La difficulté consiste à obtenir un débit pour le pseudo-tronçon de calcul qui soit relativement représentatif de l'ensemble des débits observés sur l'ensemble des biefs qu'il représente, afin de générer l'erreur la plus faible possible au niveau des kmcn et d'éviter autant que faire se peut les biais d'estimation.

Une première possibilité est de prendre un débit caractéristique basé sur les débits annuels moyens des cours d'eau à l'exutoire. Cette approche a tendance à surévaluer le nombre total des kmcn. L'erreur générée est d'autant plus forte que les débits diffèrent entre l'amont et l'aval du cours d'eau. L'erreur introduite par cette méthode dépend de surcroît fortement de la répartition amont-aval de la qualité des eaux.

On a donc envisagé non plus se baser sur le débit à l'exutoire mais sur un débit intégrant la dispersion des débits aval-amont des tronçons, autrement dit un débit moyen entre aval et amont. Cette méthode minore les erreurs au niveau du nombre de kmcn global, elle introduit en revanche une dispersion des résultats.

Le cas susceptible de générer une erreur maximale dans les résultats des comptes est celui où, pour un tronçon donné, des valeurs de qualité différentes seraient affectées à des portions du tronçon au débit différant largement. Au contraire les cas idéaux apparaissent pour des tronçons où une seule classe de qualité est présente ou si plusieurs classes sont présentes mais que les débits sont identiques ou varient peu sur l'ensemble des cours d'eau regroupés dans le pseudo-tronçon.

Pour aider au choix entre débit moyen et débit à l'exutoire, un essai a été conduit en considérant trois bassins fictifs comprenant chacun 3 cours d'eau : un grand, un moyen et un petit. Les valeurs des kmcn ont été calculées par les 3 méthodes différentes (normalisée, simplifiée par les débits moyens, simplifiée par les débits à l'exutoire) pour 3 cas différents :

- bassin n°1 : les débits et classes de qualité affectés aux tronçons varient fortement de manière plus ou moins importante ;
- bassin n°2 : mêmes débits que le cas précédent mais les qualités sont constantes par cours d'eau ;
- bassin n°3 : mêmes classes de qualité que le cas n°2, mais les débits sont relativement constants pour un même cours d'eau.

Error! Style not defined.

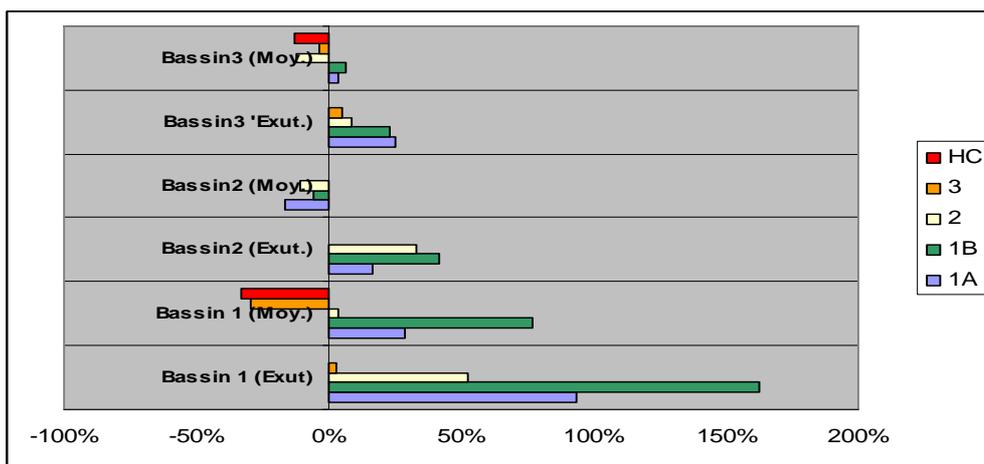
Tableau 3 : Caractéristiques des tronçons des cours d'eau pour les trois bassins exemple

Caractéristiques des tronçons			Bassin 1		Bassin 2		Bassin 3	
Type	Code	Longueur	Débit	Qualité	Débit	Qualité	Débit	Qualité
Grand	g1	12	15	1B	15	1B	17	1B
Grand	g2	10	20	1A	20	1B	17	1A
Grand	g3	6	25	1A	25	1B	19	1A
Grand	g4	9	26	2	26	1B	20	2
Grand	g5	17	40	3	40	1B	20	3
Grand	g6	13	42	HC	42	1B	22	HC
Moyen	m1	5	7	1B	7	1A	12	1B
Moyen	m2	12	9	2	9	1A	11	2
Moyen	m3	30	14	3	14	1A	12	3
Petit	p1	2	2	1A	2	2	2	1A
Petit	p2	3	3	1A	3	2	3	1A
Petit	p3	2	4	1B	4	2	3	1B
Petit	p4	6	5	2	5	2	4	2
Petit	p5	5	6	2	6	2	4	2

La distribution des kmcn par classe de qualité a été calculée selon les trois modalités précédemment présentées et l'erreur a été estimée par le ratio (valeur – valeur de référence)/valeur de référence. Les résultats sont reportés sous forme graphique dans la Figure 4. On constate que l'utilisation du débit à l'exutoire, qui serait une commodité en termes de compilation de données, introduit un biais notable, mais d'intensité variable selon la distribution respective des débits et des qualités. La prise en compte du débit moyen se traduit par un biais plus faible ou une dispersion.

Les débits moyens seront donc évalués pour la réalisation des Comptes en qualité.

Figure 4 : Distribution des erreurs d'estimation des kmcn, pour les données du Tableau 3



Légende : écart en % à la valeur de kmcn calculés au moyen de la méthode de base, pour les différentes classes de qualité. « Exut. », prise en compte du débit à l'exutoire, « Moy. », prise en compte du débit moyen.

Error! Style not defined.

Quantification des erreurs et du biais pour le débit moyen

Dans la majorité des cours d'eau de climat tempéré, le débit croît de l'amont vers l'aval, sauf aménagements spéciaux. La principale erreur introduite par la méthode simplifiée est que l'on remplace une série de débits croissants, appliqués chacun à un bief de longueur quelconque, par un débit unique appliqué à la totalité de la longueur des biefs.

Afin d'évaluer les ordres de grandeurs des erreurs et du biais éventuel, on a procédé à des séries de simulations simples en considérant deux rivières fictives, composées chacune de 50 biefs. Les biefs de la première ont des longueurs de 0 à 10 km, et de 10 à 20 km pour la seconde. Le débit y croît de manière faible (+ 1% par bief) à très forte (+ 10% par bief).

Dans chaque cas, la simulation a consisté en 30 répétitions de 500 tirages de répartition aléatoire des longueurs de biefs par hypothèse de groupe de longueur et de croissance des débits. Pour chaque tirage, on a calculé les kmcn par la méthode normale (somme des $L_i \times Q_i$) et par la méthode simplifiée ((somme de L_i) \times Q moyen). Les statistiques ci-dessous reportent les résultats des écarts (kmcn par la méthode simplifiée – kmcn par la méthode de base) pour les 8 hypothèses.

Tableau 4 : Résultats statistiques des comparaisons entre la méthode simplifiée et la méthode de base.
Débit moyen

Hypothèse longueur \times débit	Moyenne	Ecart-type minimum	Ecart-type maximum	Moyenne des minimum	Moyenne des maximum	Biais moyen
0 à 10 km, (10 à 16 m3/s)	0,00%	1,10%	1,25%	-3,6%	4%	2%
(10 à 40 m3/s)	0,09%	3,26%	3,65%	-9,6%	12%	5%
(10 à 99 m3/s)	0,30%	5,18%	5,82%	-14,6%	20%	9%
(10 à 882 m3/s)	0,96%	9,21%	10,74%	-21,9%	42%	15%
10 à 20 km, (10 à 16 m3/s)	0,01%	0,35%	0,41%	-1,1%	1%	1%
(10 à 40 m3/s)	0,00%	1,05%	1,21%	-3,3%	3%	2%
(10 à 99 m3/s)	0,04%	1,68%	1,94%	-5,2%	6%	3%
(10 à 882 m3/s)	0,10%	2,87%	3,44%	-8,9%	10%	5%

Source : calculs Ifem (en grisé, cas pour lesquels l'écart est une source notable d'erreur).

Le biais moyen est calculé comme la différence entre les moyennes des écarts positifs (surestimation) et celle des écarts négatifs (sous-estimation). Cette méthode a été utilisée car elle est calculable, même en l'absence d'écarts négatifs. Dans ce dernier cas, le biais est égal à la moyenne générale.

Ce qui était pressenti dans le choix du débit de référence est confirmé, à savoir que la méthode simplifiée, avec le débit moyen présente un certain biais. Dans les cas où les débits croissent de manière modérée, avec des tronçons courts et dans tous les cas pour des tronçons longs, le biais moyen indique une surestimation des kmcn de l'ordre de 10%, ce qui ne représente pas un problème dirimant, compte tenu des autres sources d'erreur, très certainement plus importantes.

Il faut toutefois noter que l'estimation du biais réalisée par cette méthode ne tient pas compte de la répartition des classes de qualité de l'amont à l'aval du cours d'eau. Dans les cas où la distribution des classes de qualité n'est pas aléatoire sur le cours d'eau, les biais d'estimation seront accrus, tant en surestimation qu'en sous-estimation. Cette question reste donc ouverte.

A titre de comparaison, le même calcul a été constitué en prenant le débit à l'extrémité du cours d'eau hypothétique, ce qui donne dans ce cas des erreurs intolérables. En effet, même dans le cas de faible croissance du débit, le biais moyen est plusieurs fois celui calculé en considérant l'utilisation du débit moyen. Les résultats sont reportés, pour information, dans le tableau suivant.

*Error! Style not defined.***Tableau 5 : Résultats statistiques des comparaisons entre la méthode simplifiée et la méthode de base.
Débit à l'embouchure**

Hypothèse longueur × débit	Moyenne	Ecart-type minimum	Ecart-type maximum	Moyenne des minimum	Moyenne des maximum	Biais moyen
0 à 10 km, (10 à 16m3/s)	23,96%	1,35%	1,58%	19,7%	29%	24%
(10 à 40m3/s)	78,77%	5,73%	6,51%	61,5%	100%	79%
(10 à 99m3/s)	139,59%	12,00%	14,23%	103,3%	187%	140%
(10 à 882m3/s)	294,81%	35,75%	40,78%	204,7%	448%	295%
10 à 20 km, (10 à 16m3/s)	23,94%	0,45%	0,51%	22,5%	25%	24%
(10 à 40m3/s)	78,62%	1,92%	2,14%	72,6%	85%	79%
(10 à 99m3/s)	138,95%	4,08%	4,55%	126,7%	153%	139%
(10 à 882m3/s)	291,18%	11,56%	13,01%	256,7%	331%	291%

Source : calculs Ifen. En grisé cas pour lesquels l'écart est une source notable d'erreur.

Méthode d'estimation des débits caractéristiques des tronçons

Comme le fichier de données de qualité des eaux ne permet pas d'identifier les rivières concernées, une méthode détournée d'estimation des débits caractéristiques a dû être développée. Cette méthode part de l'hypothèse que la productivité hydraulique (exprimée en $l.s^{-1}.km^{-2}$) d'une classe de cours d'eau dans un bassin versant donné est peu dispersée pour tous les cours d'eau de cette classe.

Par ailleurs, une seconde hypothèse est nécessaire. En effet, l'impossibilité d'identifier les cours d'eau ne permet pas non plus de connaître la superficie de leur bassin versant. On a donc pallié cette difficulté en considérant que la densité hydrographique d'une classe de cours d'eau dans un bassin donné est également peu dispersée.

L'estimation des débits a donc été conduite en traitant d'une part des informations de nature géographiques (densité hydrographique, longueur des tronçons) et d'autre part des informations débit-métriques. Pour ces dernières, les données de près de 200 stations de mesures ayant fait l'objet d'un suivi régulier d'au moins 10 années jusqu'en 1993 et publiées par le RNDE (RNDE 1994), ont été utilisées. L'ensemble des procédures de traitement a été implanté dans la base thématique « eaux continentales » de l'Ifen. Cette procédure comporte les étapes suivantes.

- **Détermination par bassin versant de la densité hydrographique moyenne (ρ)**

La densité hydrographique représente la quantité de cours d'eau exprimée en km rapportée à une surface élémentaire, ici le km^2 .

$$\text{Équation 4 : Calcul de la densité hydrographique } \rho_{BV} = \frac{\sum \sum \text{Longueur}_{PS-TR} (km)}{\text{Aire}_{BV} (km^2)}$$

On somme donc à la fois sur les classes de taille et sur les classes de qualité, la base de calcul étant ici le pseudo-tronçon.

Error! Style not defined.

- **Détermination de la surface (S) drainée par classe de taille dans un bassin versant**

En prenant comme hypothèse que la densité hydrographique est homogène sur l'ensemble du bassin versant, on détermine la surface de la manière suivante :

Équation 5 : Calcul de la surface drainée par classe de taille

$$S_{\text{CLASSE}} = \frac{\sum \text{Longueur}_{\text{PS-TR}} (\text{km})}{\rho_{\text{BV}} (\text{km}^{-1})} + S_{\text{CLASSE-AMONT}}$$

La longueur totale est évidemment la somme des longueurs de toutes les classes de taille.

Cette hypothèse est évidemment une commodité de calcul, qui présuppose l'homogénéité de la densité hydrographique dans l'ensemble du bassin versant de référence, ici le bassin versant RNDE. Cette homogénéité n'est pas nécessairement vérifiée pour tous ces bassins versants. Une amélioration envisageable de la méthode simplifiée serait de mieux discriminer, au sein de chaque bassin versant RNDE, les principaux domaines hydrologiques, notamment en fonction des sols et du sous-sol.

Cette option n'a pas été retenue dans ce travail car il est à court terme envisagé de se doter d'une base de données hydrologique objective et multifonctions. La complication des perfectionnements à la marge de la méthode simplifiée n'a donc pas paru en rapport avec le gain de précision escompté.

En revanche, si la méthode simplifiée devait être appliquée de manière plus large, soit en augmentant les modalités d'évaluation de la qualité, en considérant d'autres années ou d'autres pays, alors, il serait prudent de prendre en considération la possibilité d'une meilleure approximation des débits à l'intérieur d'un bassin, en fonction de critères simples.

- **Détermination de la productivité (P) d'un bassin versant**

La productivité d'un bassin versant exprime la quantité d'eau produite par unité de temps, donc un débit, pour une surface donnée, ici le km².

Dans un premier temps, on calcule la productivité de chacune des stations du bassin versant. Ensuite, la productivité sur l'ensemble du bassin versant est obtenue en moyennant ces productivités.

Équation 6 : Calcul de la productivité d'un bassin versant

$$P_{\text{BV}} = \overline{P}_{\text{STATION}} = \left(\frac{\overline{\text{Module}_{\text{STATION}} (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})}}{\overline{\text{Aire}_{\text{STATION}} (\text{km}^2)}} \right)$$

Le module d'un cours d'eau en un point donné est un débit moyen interannuel, calculé sur l'année hydrologique (période de 12 mois débutant après le mois des plus basses eaux, soit en général à partir de septembre pour la plupart des régions de France métropolitaine).

En pratique, on distingue au moins les stations de jaugeage du drain principal (classe de taille 1) et des autres cours d'eau (classes 2 à 4).

Error! Style not defined.

• **Détermination du débit caractéristique (Q) d'une classe de taille**

Cette valeur est obtenue en multipliant la surface drainée par les cours d'eau de cette classe, tous pseudo-tronçons confondus ainsi que celle du ou des pseudo-tronçons amonts du même bassin par la productivité du bassin. Pour les drains principaux, communiquant d'un bassin à un autre, le débit calculé équivaut à la productivité du bassin multiplié par la surface totale augmenté du débit calculé du drain principal du ou des bassins amonts. Ceci est exprimé au moyen des équations suivantes.

Équation 7 : Calcul du débit caractéristique (drains secondaires)

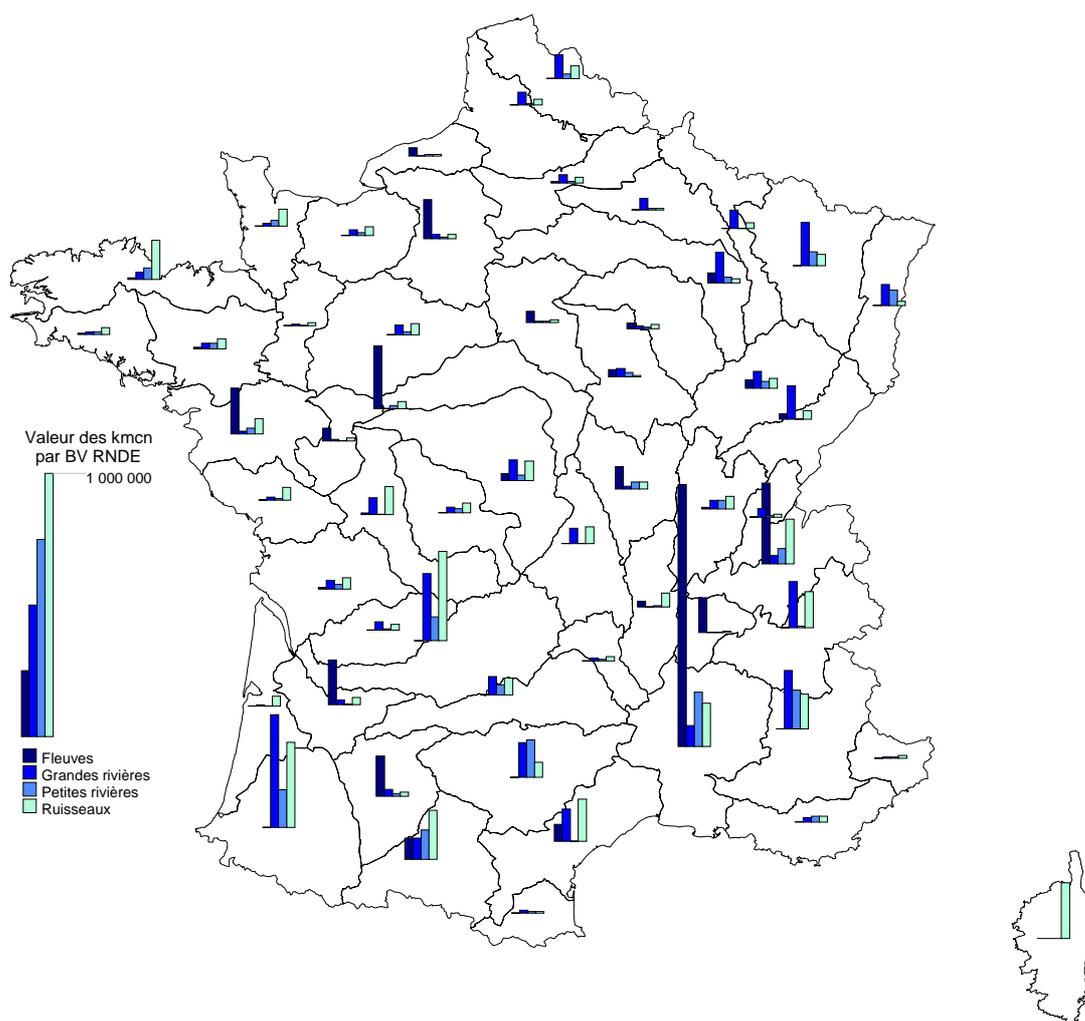
$$Q_{CLASSE} = P_{BV} (m^3 .s^{-1} .km^{-2}) \times S_{CLASSE} (km^2)$$

Équation 8 : Calcul du débit caractéristique (drains principaux)

$$Q_{CLASSE} = P_{BV} (m^3 .s^{-1} .km^{-2}) \times S_{BV} (km^2) + \sum Q_{BV_{amont}} (m^3 .s^{-1})$$

Résultats exprimés en kmcn

Figure 5 : Distribution des valeurs de kmcn en France métropolitaine



Source : données RNDE, calculs Ifen, débits moyens interannuels affectés selon la méthode simplifiée.

Error! Style not defined.

L'ensemble des résultats numériques, par classe de taille et par bassin versant RNDE est reporté en Annexe 2. Un résumé est toutefois porté dans le tableau ci-après, avec les pourcentages représentés par chaque groupe de taille de cours d'eau.

Tableau 6 : Résumé des valeurs numériques des kmcn, France métropolitaine

	Fleuves	Rivières	Petites rivières	Ruisseaux	ENSEMBLE
kilo-kmcn	2 879	3 120	1 513	3 365	10 877
%	26%	29%	14%	31%	100%

Dans l'ensemble, les différentes classes de taille sont assez équitablement réparties, sur la base des kmcn, la grande longueur des plus petits cours d'eau étant compensée par le plus faible débit écoulé. Bien évidemment, cette relative homogénéité au niveau national ne se retrouve pas dans le détail des bassins.

La présence de certains types de cours d'eau et de leur importance relative, exprimées par la grandeur kmcn, varie en effet fortement d'une région de la France à une autre. Ces différences sont illustrées par la carte (Figure 5) qui montre que la présence de certains types de cours d'eau n'est pas assurée dans tous les bassins RNDE, et surtout que l'importance relative de ces différents types est extrêmement variable d'une région à l'autre. On note en particulier que le Rhône aval pèse d'un poids considérable dans le total des kmcn de la classe "fleuves".

Il est clair que ces résultats, présentés dans le cadre d'une étude pilote basée sur des données dont le moins qu'on puisse en dire est qu'elles demandent une évaluation et une amélioration, doivent être maniés avec précaution. Par exemple, certains bassins, comme la Vilaine ne comportent pas de cours d'eau de classe "fleuves", alors qu'on en trouve dans les bassins versants du Roussillon.

On a complété cette analyse par la distribution des kmcn selon les bassins. Pour cela on a réalisé les graphiques de distribution log-normales des kmcn pour tous les bassins RNDE. Ce type de distribution s'applique bien aux données correspondantes (Figure 6) car les valeurs du kmcn sont le résultat d'une multiplication et le débit reçu dans les bassins aval est cumulé depuis l'amont, en gros proportionnellement à la superficie.

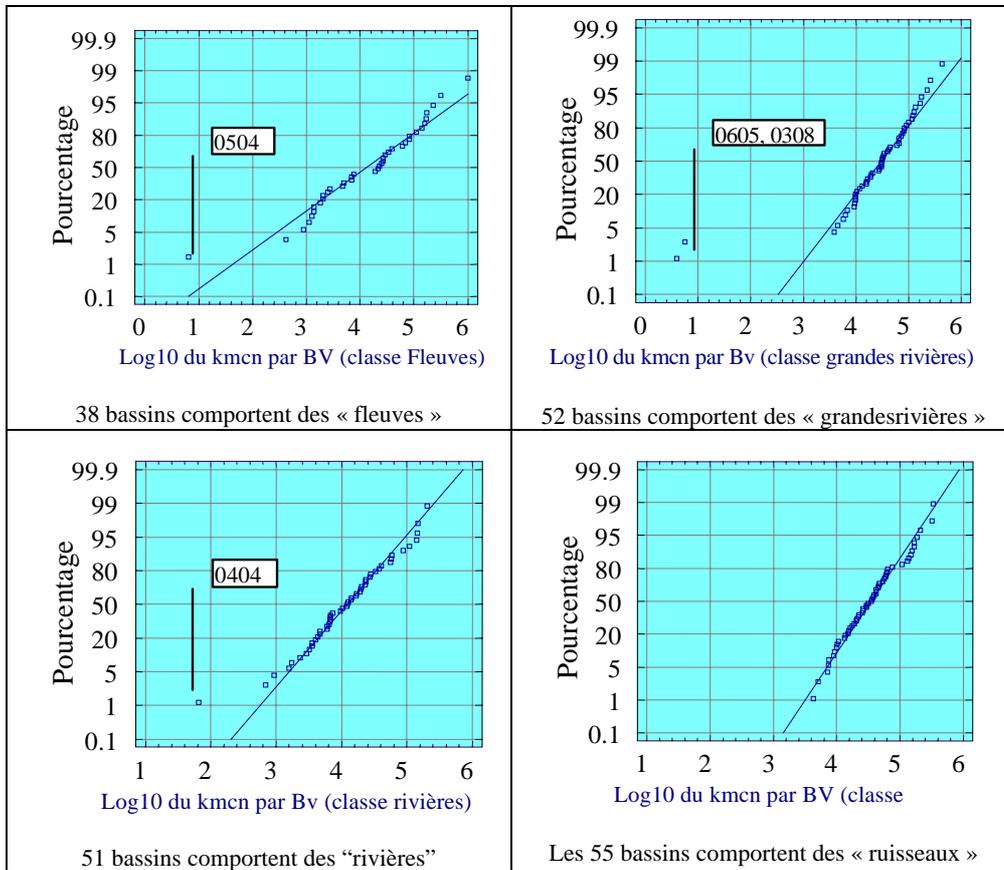
On note de ce fait des anomalies, correspondant aux points très en dehors de l'ajustement. Par exemple, la classe "fleuves" du bassin 0504 (Lot) est représentée par un chiffre infime, de même que la classe "grandes rivières" des bassins 0605 (Rhône de l'Ain à l'Isère) et 0308 (Côtiers Haut-Normands). Enfin la classe "rivières" est également en anomalie dans le bassin 0404 (Allier aval).

Ces anomalies ne sont pas nécessairement des erreurs. Il est toutefois impossible de les traiter correctement car les données nécessaires ne sont pas disponibles dans les données de base.

Ces graphiques montrent bien un équilibre entre les différentes classes de rivières, le faible débit des cours d'eau de la classe « ruisseaux » étant compensé par leur longueur. Au contraire même, on observe des valeurs faibles de kmcn dans la classe « fleuve », par suite des faibles longueurs représentées.

Les développements ultérieurs des Comptes en qualité devront repartir d'une base de données des cours d'eau plus complète que celle actuellement utilisée pour la publication des cartes. Toutefois, on rappelle que la BD CARTHAGE n'est pas encore disponible pour l'ensemble du territoire métropolitain.

Error! Style not defined.

Figure 6: Distribution des kmcn par classe de taille de cours d'eau

Source : données Agences de l'eau - RNB via BNDE, calculs Ifen, carte de référence « matières oxydables 1996 », état 1994

Homogénéisation des résultats

Les différentes cartes utilisées comportent des linéaires différents de cours d'eau renseignés. Or, au stade actuel de la méthodologie, on utilise en principe une même base de kmcn sur laquelle on projette l'évaluation de la qualité. Pour rester homogène avec ce principe, tous les résultats ont été ré-exprimés en pourcentage ou ramenés, à partir des pourcentages individuels, à une valeur de kmcn de référence. Cette référence est la carte de qualité « matières organiques et oxydables », car c'est la seule pour laquelle une comparaison entre deux états est possible.

Par ailleurs, le taux de renseignement⁹ des différentes cartes est très variable d'une carte à l'autre et, à l'intérieur d'une carte, d'un bassin versant RNDE à un autre.

On a considéré que les cours d'eau renseignés sont une image représentative de l'ensemble des cours d'eau de la même classe de taille au sein du bassin versant RNDE concerné, et recalculé en tant que de besoin les kmcn finaux à partir de la proportion des classes de qualité.

⁹ Calculé comme le ratio des kmcn des cours d'eau munis d'une information sur leur qualité au total des kmcn de tous les cours d'eau présents sur la carte.

Error! Style not defined.

Procédure de calcul

La procédure de calcul est implémentée dans la « base thématique atelier » des eaux continentales de l'Ifem, et développée dans le cadre de la plate-forme NOPOLU *Système 2* de BETURE-CEREC. Le module et l'architecture du calcul proprement dit sont détaillés en Annexe 3.

La procédure comporte d'une part le lien avec la base hydrologique de la « base thématique atelier » et d'autre part avec la base « Comptes de l'eau » proprement dite. Des essais sont en cours, au moment de la publication de ce travail, pour améliorer l'exploitation des données des stations de jaugeage, dans le cadre de la méthode simplifiée, de manière à permettre des exploitations de cartes de qualité de toute nature, notamment des cartes plus détaillées sur des sous-bassins.

Le système permet de traiter les données issues des cartes, de calculer les kmcn bruts homogénéisés et de procéder aux comparaisons entre états ainsi que de calculer les index globaux de qualité des eaux.

EVALUATION DES RESULTATS DE L'EXPLOITATION DES DONNEES

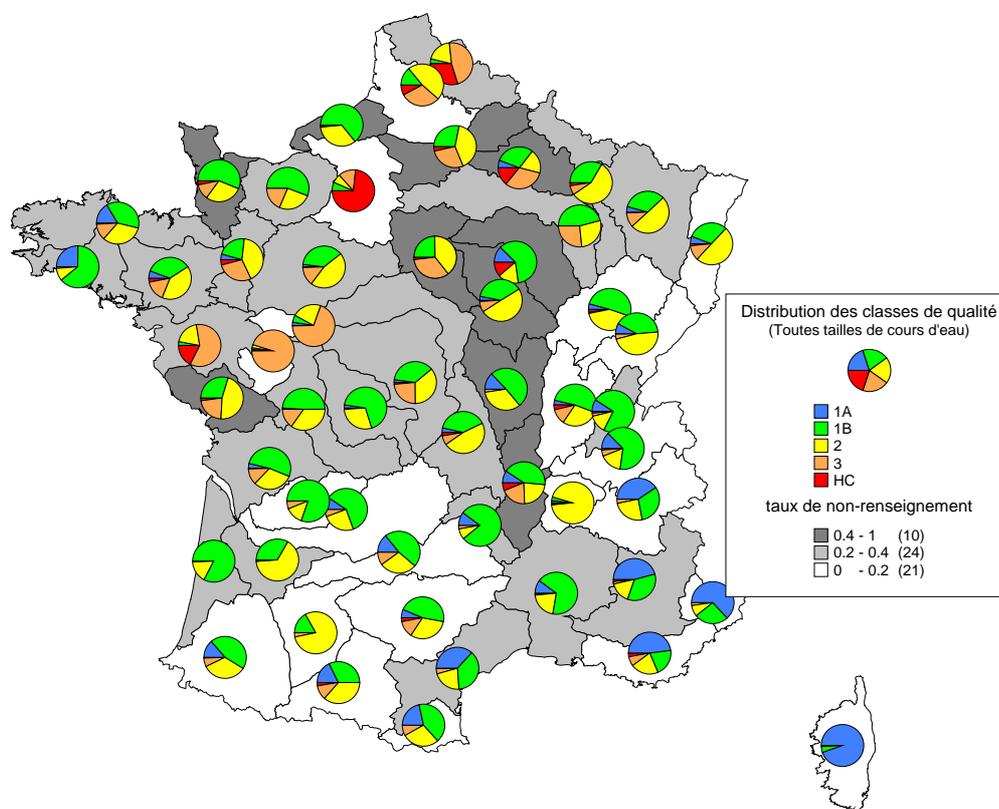
QUALITE MATIERES ORGANIQUES

La qualité « matières organiques » correspond à l'affectation d'une classe de qualité selon les règles de l'altération « matières organiques et oxydables » du SEQ-eau (Anonyme 1998), qui prend en considération l'oxygène dissous, la DBO₅ (demande biochimique d'oxygène à 5 jours), la DCO (demande chimique d'oxygène) et l'ammonium (ion NH₄⁺). Elle est exprimée par cinq classes, notées de la meilleure à la pire : 1A, 1B, 2, 3 et HC (hors classe).

Etat 1992

Après transfert des données associées sur un fond compatible avec les publications ultérieures (Cf. Tableau 2), on constate que l'état 1992 se caractérise par un taux de renseignement important des cours d'eau des classes « rivière » et « ruisseaux », dont l'origine de l'information n'est pas précisée. Il est possible que la réalisation de cette carte ait été menée en utilisant des sources hors RNB. Le taux global de non-renseignement des cours d'eau, calculé comme le pourcentage des kmcn de classe 9 au total des kmcn de chaque bassin versant RNDE, dépasse 40% dans une dizaine de bassins versants

Figure 7 : Analyse de détail de la répartition géographique des kmcn ventilés par classe de qualité, toutes classes de taille de cours d'eau confondues (Etat 1992)



Source : données Agences de l'eau - RNB via BNDE, calculs ifem

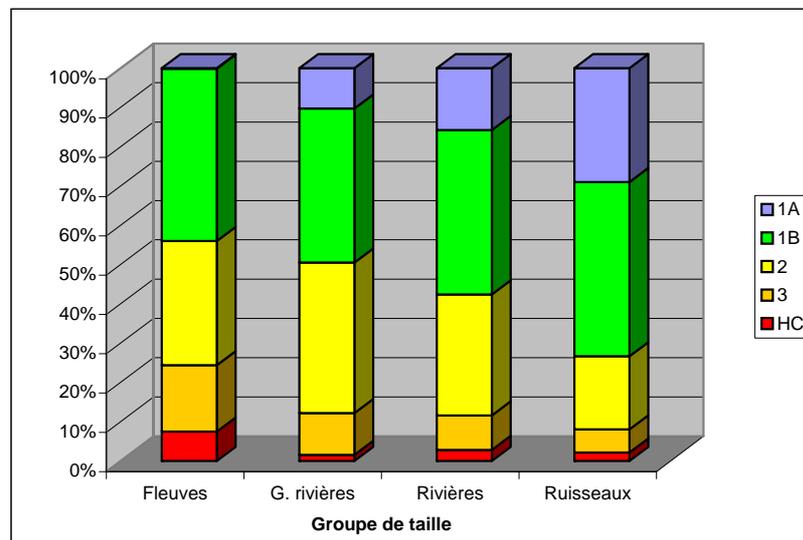
Error! Style not defined.

La répartition géographique présentée sur la carte précédente comporte la proportion de kmcn homogénéisés ventilés par classe de qualité (tous groupes de taille confondus), ainsi que le taux de renseignement agrégé par bassin versant RNDE.

La carte de l'état 1992 (RNDE 1993a) n'a pas été établie strictement selon les règles d'affectation de la qualité du SEQ-eau. Toutefois, les méthodes d'affectation de la « qualité générale » sont en fait très proches de celles utilisées postérieurement pour définir l'altération « matières organiques et oxydables ». On a donc jugé possible la comparaison entre cette carte et la carte de l'état 1994, compte tenu des autres incertitudes très grandes sur la qualité des données.

La distribution globale des kmcn homogénéisés, ventilés par classe de qualité et par classe de cours d'eau est reportée dans la Figure 8.

Figure 8 : Distribution (en pourcentage) des quantités kmcn par classe de qualité et par classe de taille de cours d'eau (Etat 1992).
Qualité générale, assimilable à celle évaluée par l'altération « matières organiques et oxydables »



Source : données Agences de l'eau - RNB via BNDE, calculs Ifen, classes de qualité (voir texte)

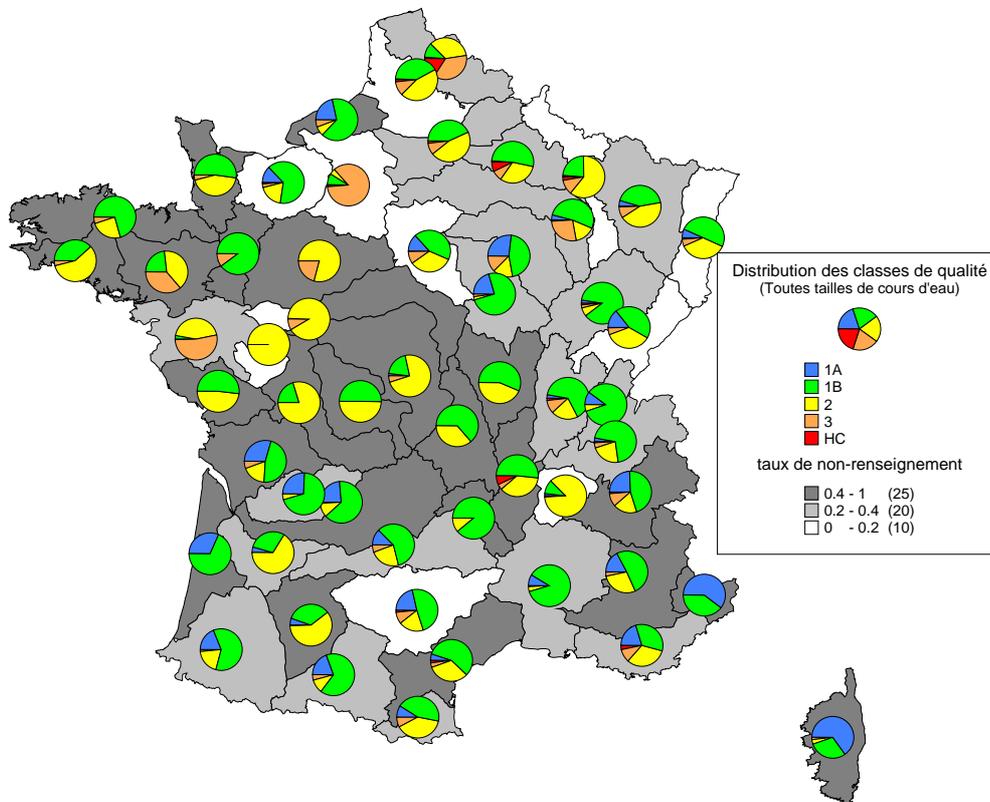
Etat 1994

La carte d'état 1994 a bénéficié d'améliorations dans sa réalisation, notamment en fonction de l'expérience acquise par le groupe de travail *ad hoc* du RNDE au cours de la réalisation de la carte de l'état 1992. Cette carte (RNDE 1996b) comporte moins de linéaire renseigné que la carte de l'état 1992. Elle semble montrer une amélioration sensible de la qualité des cours d'eau, notamment en ce qui concerne la classe « fleuves ».

Une importante différence entre les deux cartes est la hausse importante du nombre de bassins versants RNDE qui ont plus de 40% de leur kmcn total qui n'est pas renseigné, puisqu'il passe de 10 à 25, avec des changements de statut pour plusieurs bassins versants. Les secteurs les plus pollués étant toutefois ceux qui bénéficient du maximum de surveillance, ce n'est donc pas le moindre taux de renseignement qui peut expliquer l'amélioration constatée de la qualité.

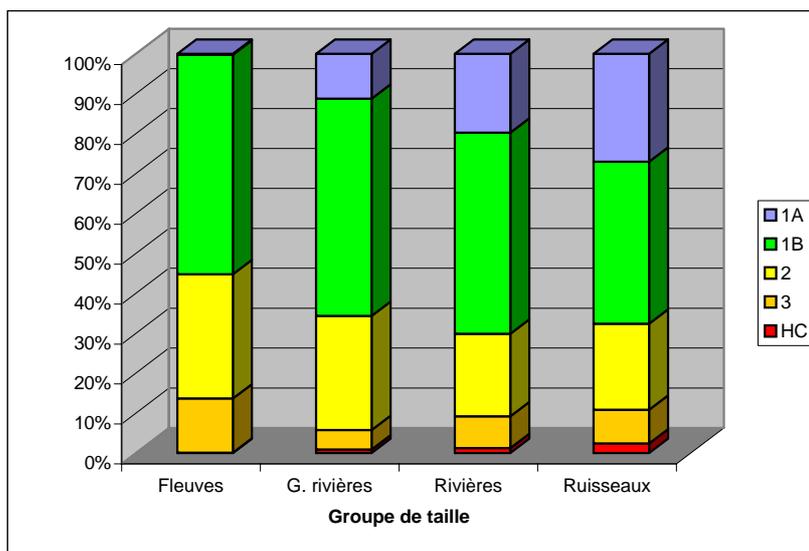
Error! Style not defined.

Figure 9 : Répartition géographique des kmcn ventilés par classe de qualité, toutes classes de taille de cours d'eau confondues (Etat 1994)



Source : données Agences de l'eau - RNB via BNDE, calculs ifen

**Figure 10 : Distribution (en pourcentage) des quantités kmcn par classe de qualité et par classe de taille de cours d'eau (Etat 1994)
Altération matières organiques et oxydables**

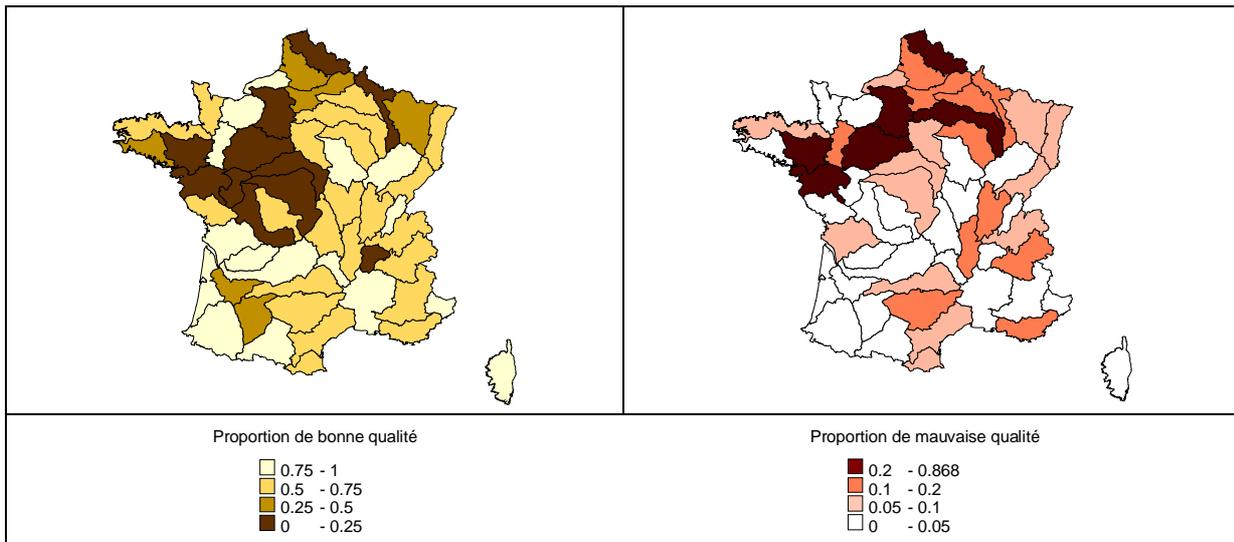


Source : données Agences de l'eau - RNB via BNDE, calculs Ifen

Error! Style not defined.

La représentation géographique de l'état 1994 a également été résumée en agrégeant, dans chaque bassin, la quantité de kmcn de bonne (classes 1A et 1B) ou de mauvaise (classes 3 et HC). La proportion de kmcn de bonne ou de mauvaise qualité est représentée dans les deux cartes suivantes. La gradation des proportions est évidemment différente, la bonne qualité étant la règle alors que la mauvaise doit représenter seulement l'exception.

**Figure 11 : Proportion de kmcn de bonne ou de mauvaise qualité, rapportée à l'ensemble des classes de cours d'eau de chaque bassin versant RNDE (Etat 1994)
Altération matières oxydables**



Source : données Agences de l'eau - RNB via BNDE, calculs Ifen

On constate que certains bassins présentent à la fois peu de kmcn de bonne qualité et beaucoup de mauvaise, signe d'une mauvaise qualité générale (Seine aval, Loir et Sarthe, Nord, etc.), d'autres au contraire (Charente, Seine amont, Côtiers de la Méditerranée, etc.) se caractérisent par des zones limitées de mauvaise qualité, traduites par une couleur foncée sur la carte de droite, et claire sur celle de gauche.

NITRATE

La carte (RNDE, 1996c) a été traitée par la même méthode que les matières organiques. Les classes de qualité ont été affectées en fonction de l'altération « nitrate » du SEQ-eau, qui ne traite que de la concentration de l'eau en ion NO_3^- . Elles sont donc exprimées selon une échelle N1 à N5.

Cette altération se réfère très explicitement aux valeurs de conformité pour les eaux de distribution. De ce fait, les bornes qui définissent les niveaux d'altération sont respectivement 5, 25, 50 et 80 $\text{mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$. De telles valeurs, très excessives pour des cours d'eau, dont les teneurs naturelles sont de l'ordre de 1 $\text{mg NO}_3^- \text{ l}^{-1}$, induisent nécessairement des qualités apparemment satisfaisantes, comme le montrent le graphique et la carte suivantes.

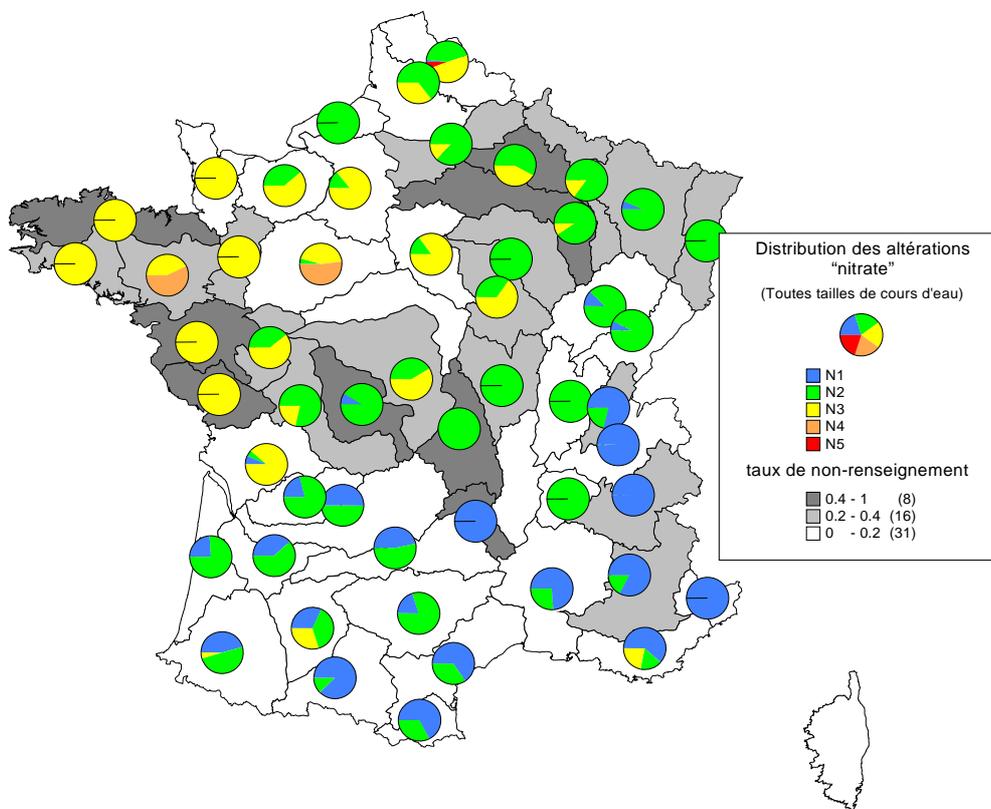
Sur la carte ci-dessous, l'altération en nitrate apparaît clairement comme une problématique à l'ouest d'une ligne Nord-Est / Sud-Ouest de la France, ce qui est confirmé par d'autres études et traitement de données, notamment reportés dans le chapitre « Eaux continentales » du dernier « Rapport sur l'état de l'environnement » (CROUZET *et al.*, 1998).

Le taux de renseignement y est très bon, puisque seulement 8 bassins versants RNDE ont plus de 40% de leur total kmcn non renseigné.

Figure 12 : Répartition géographique des kmcn ventilés par classe d'altération « nitrate »,

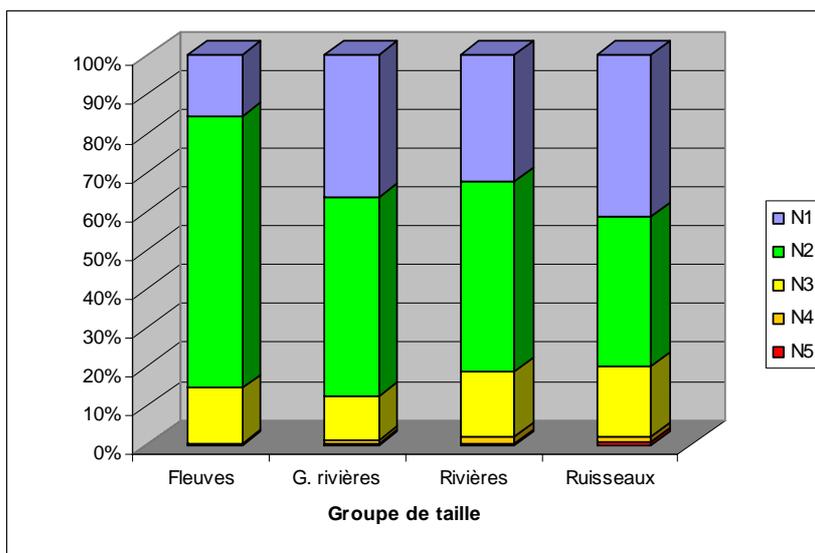
Error! Style not defined.

toutes classes de taille de cours d'eau confondues (Etat 1994)



Source : données Agences de l'eau - RNB via BNDE, calculs Ifen

Figure 13 : Distribution (en pourcentage) des quantités kmcn par classe d'altération et par classe de taille de cours d'eau (Etat 1994) - Pollution par le nitrate



Source : données Agences de l'eau - RNB via BNDE, calculs ifen

La cartographie (Figure 12, ci-dessus) montre une répartition très hétérogène des altérations dues au nitrate, en fonction des régions.

Error! Style not defined.

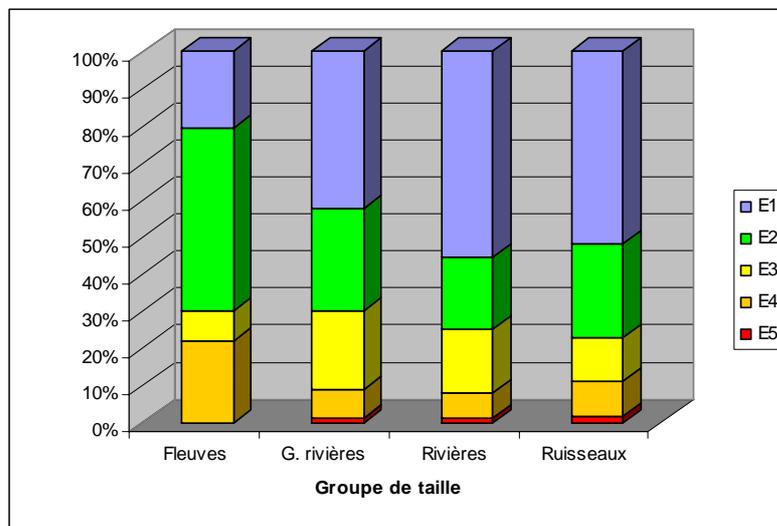
EUTROPHISATION DES EAUX

L'eutrophisation des eaux est un problème particulier, qui se traduit principalement par des proliférations végétales en quantités trop grandes pour les possibilités de consommation et de dégradation des milieux dans lesquels elle se manifeste. De ce fait, elle se comporte comme une pollution organique secondaire, qui consomme de l'oxygène, asphyxie les eaux et provoque le relargage de substances toxiques (méthane, ammoniac, hydrogène sulfuré) dans les cas les plus paroxystiques.

L'eutrophisation est mesurée par ses manifestations directes (concentration en phytoplancton, évaluée par la teneur en chlorophylle), taux de couverture du fond par des algues filamenteuses ou des macrophytes. On l'évalue également par des manifestations indirectes, notamment la perturbation des cycles diurnes-nocturnes ou saisonniers de l'oxygène dissous et du pH. Les proliférations végétales sont quantifiées par une altération spécifique du SEQ, et une carte linéaire a été publiée en 1996 (RNDE, 1996a).

Les déterminants nécessaires à l'évaluation de l'altération correspondante sont moins bien suivis que ne le sont le nitrate ou les matières organiques. De ce fait, le taux de non-renseignement est très élevé, 36 bassins versants RNDE ayant plus de 40% de leur total kmcn dépourvu d'information sur leur degré trophique.

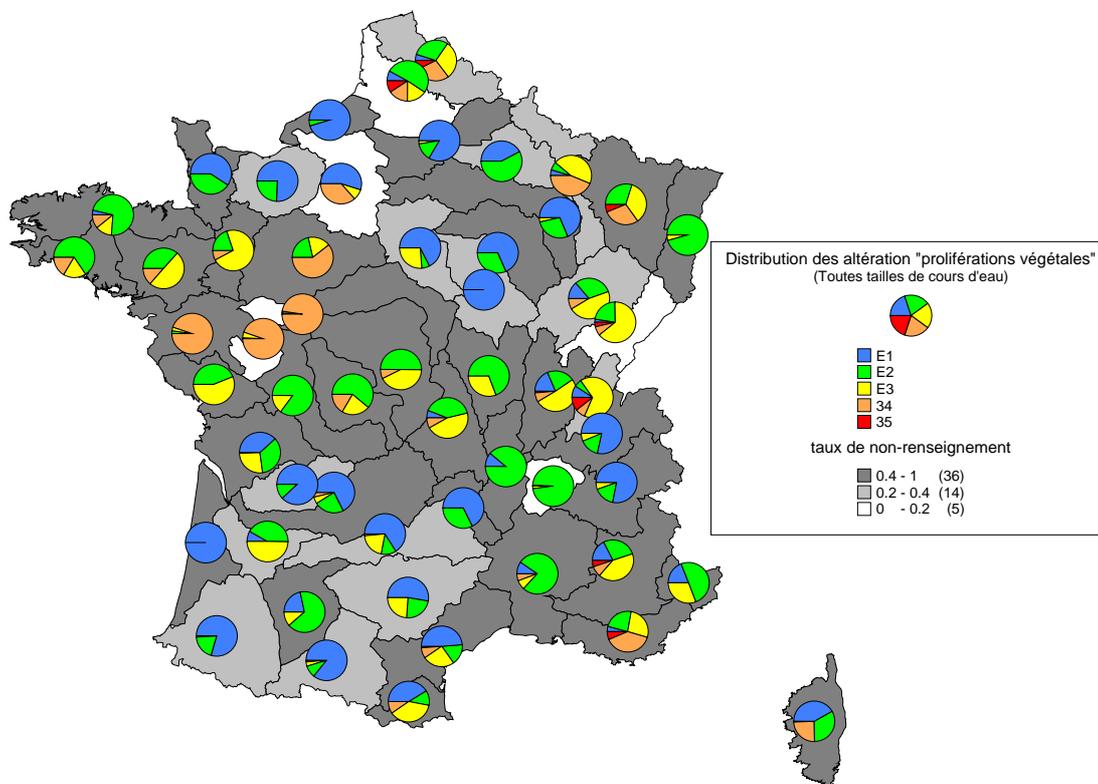
Figure 14 : Distribution (en pourcentage) des quantités kmcn par classe d'altération « proliférations végétales » et par classe de taille de cours d'eau (Etat 1994)



Source : données Agences de l'eau - RNB via BNDE, calculs Ifen

Error! Style not defined.

Figure 15 : Répartition géographique des kmcn ventilés par classe d'altération « proliférations végétales », toutes classes de taille de cours d'eau confondues (État 1994)



Source : données Agences de l'eau - RNB via BNDE, calculs Ifen

On remarque sur cette carte également la régionalisation forte des problèmes d'eutrophisation dont les causes sont principalement les apports en phosphore biodisponible par les villes, les industries et le cas échéant l'agriculture.

Par ailleurs, pour que les végétaux poussent de manière excessive, il faut également que soient réunies des conditions physiques favorables. Ces conditions sont l'éclairement, la faible turbidité des eaux, l'absence de toxiques. La présence en grandes quantités de sources d'azote (ammonium, nitrate), favorise, si le phosphore est présent, la croissance de certaines espèces. Leur absence n'est pas une garantie d'absence d'eutrophisation. Des espèces particulièrement gênantes (du groupe des cyanobactéries) peuvent en effet fixer l'azote atmosphérique en présence d'un excès de phosphore.

Error! Style not defined.

EXPLOITATION DES RESULTATS

LE TABLEAU DE SYNTHESE

Les résultats en kmcn homogénéisés pour les « matières organiques et oxydables » des années 1992 et 1994 sont reportés dans le tableau général de synthèse, avec toutefois l'ajout de colonnes d'ajustement, pour tenir compte des entités pour lesquelles une discordance entre la différence des états individuels et la différence globale, calculées par deux méthodes, donnaient des chiffres distincts. L'ajustement a donc valeur de l'incertitude minimale à appliquer à certains chiffres, du fait de l'hétérogénéité des données de départ.

Tableau 7 : Etat 1992, 1994 et différence de l'état des cours d'eau France métropolitaine (en kilo-kmcn)

Classe de cours d'eau	Etat 1992						Différence 1994-1992						Etat 1994						Ajustement				
	1A	1B	2	3	HC	Σ	1A	1B	2	3	HC	Σ	1A	1B	2	3	HC	Σ	1A	1B	2	3	HC
Fleuves	5	1 253	891	510	177	2 836	3	329	2	-152	-165	17	8	1 583	893	358	12	2 854	0	6	7	-32	0
Grandes rivières	309	1 228	1 194	336	50	3 117	16	464	-275	-182	-22	1	325	1 691	919	154	28	3 117	0	0	0	0	0
Rivières	260	615	451	128	47	1 501	46	134	-129	-17	-28	6	306	749	322	110	18	1 505	-1	-4	0	0	0
Ruisseaux	860	1 464	690	243	95	3 352	-51	-170	227	15	-23	-2	810	1 295	917	258	72	3 352	7	-6	1	0	0
Ensemble	1 434	4 560	3 226	1 217	369	10 806	14	757	-175	-336	-238	22	1 449	5 318	3 051	880	130	10 828					

Source : données Agences de l'eau, RNDE, calculs Ifen "Comptes de l'eau en qualité, méthodologie simplifiée"

Les totaux en kmcn par groupe de taille sont très légèrement différents des totaux en kmcn du Tableau 6. Ces différences résultent des nombreuses extrapolations et arrondis qui ont été calculés pour aboutir aux valeurs de kmcn par bassin versant RNDE. Les différences sont toutefois négligeables. Pour l'instant, il n'est pas possible d'aller plus loin dans la constitution de comptes. Des tableaux de synthèse similaires portant sur le nitrate et l'eutrophisation pourront être réalisés dès la publication des nouvelles cartes par le RNDE, attendues pour la fin 1999 ou le début 2000. La réalisation de comptes centraux requiert d'autres données, encore en cours d'élaboration.

Il serait techniquement envisageable de réaliser un compte central national, moyennant malgré tout des hypothèses de répartition des causes de changement et de leur affectation aux évolutions de qualité. Toutefois, la pertinence de tels comptes serait totalement illusoire, car les questions relatives aux eaux continentales ne sont transférables et compensables que si, et seulement si, il existe des relations physiques entre les objets considérés. On ne peut donc pas affecter globalement des efforts de dépollution à un changement global de qualité, car il n'y a aucune relation de causalité entre une cause produite à un endroit du territoire et un effet observé à l'autre extrémité du territoire. En revanche, on peut agréger l'ensemble des relations causes à effet au niveau national.

En cela, les comptes physiques sont par nature différents des comptes monétaires dans leurs modalités de réalisation.

CONSTITUTION D'INDEX GLOBAUX

Objectifs

Les graphiques et cartes présentés précédemment sont un des éléments des Comptes en qualité. Toutefois, même sous forme d'un tableau simplifié, la présentation comptable n'est pas la plus parlante pour des gestionnaires de la ressource en eau. Or, à partir du moment où la finalité comptable a imposé une méthodologie rigoureuse de pondération et de représentativité des ressources comptabilisées, la constitution d'index globaux, très agrégés, devient possible. Deux analyses complémentaires sont alors envisageables :

1. La comparaison d'états successifs d'une même appréciation de la qualité, ceci sera fait pour les résultats acquis quant à la qualité générale. Cette comparaison revient donc à considérer les changements en qualité comme un flux entre un état initial et un état final. Ce flux doit pouvoir être compté bassin par bassin et agrégé au niveau supérieur (ici, seule l'agrégation nationale est considérée).
2. La comparaison de différentes appréciations de la qualité, de manière à classer l'importance relative, par exemple du nitrate et de l'eutrophisation.

Ces deux comparaisons sont en effet essentielles pour relier par la suite les Comptes physiques en qualité avec des dépenses ou des travaux.

Toutefois, la réalisation de cette comparaison pose des problèmes pratiques, dus à la méthode même de constitution des grandeurs comptabilisables. En effet, les valeurs homologues aux stocks et aux flux (qualité initiale, changement de la qualité) sont converties en kmcn, qui ne seraient immédiatement comparables que si, et seulement si, ils étaient établis strictement sur le même référentiel de cours d'eau. Cet indicateur devrait aussi pouvoir être appliqué dans le cas où une référence de débit annualisé était prise en lieu et place du module interannuel. Dans cette hypothèse, la quantité totale de kmcn d'une année ne serait pas en général identique à celle d'une autre année. Le test de calcul n'a pas été réalisé dans ce cas, dans le cadre de ce travail.

Or ceci n'est jamais le cas dans l'état présent des données disponibles. On doit donc rechercher un moyen de réaliser un indicateur global, comparable et dans la construction duquel disparaîtraient les différences d'une source de données à une autre.

Proposition d'index global de qualité

L'idée la plus simple est de rechercher à calculer une classe de qualité représentant l'état moyen d'un bassin ou d'un groupement de bassins. En pratique, cela revient à compacter en un chiffre unique chacune des barres des histogrammes des Figure 8, Figure 10, Figure 13 et Figure 14.

Une méthode simple est de calculer soit le numéro moyen de la classe de qualité ou de calculer la classe de qualité moyenne.

Dans le premier cas, le calcul consiste à appliquer une pondération (au sens purement arithmétique du terme) de 1, 2, ..., 5, respectivement aux valeurs de kmcn totales des classes 1A, 1B, ..., ou N1, N2, ... ou E1, E2, ... ; cette méthode donne donc le numéro moyen de la classe de qualité, sans tenir compte de la plus ou moins grande importance d'une qualité par rapport à une autre. On constate en effet que dans le cas trivial où un bassin est tout entier dans une certaine classe de qualité, alors le numéro moyen est conservé (c'est par exemple pratiquement le cas du bassin versant RNDE de la Corse, Figure 7).

Error! Style not defined.

La définition de la classe de qualité moyenne implique en revanche de tenir compte du poids réel de chaque classe de qualité. Cette approche a déjà été suggérée et rappelée dans la section « Ajustements méthodologiques », page 14. Dans l'étude de 1986 de la CICPN, la pondération proposée essayait de tenir compte des écarts variables entre classes, sans pour autant parvenir à une solution satisfaisante.

Désormais, l'utilisation du SEQ-Eau rend cette approche plus licite d'un point de vue théorique. L'évaluation des classes d'altération a été basée sur la définition préalable d'un indicateur continu, valant de 1 à 100, et dont les classes sont découpées en intervalles égaux de 20 (ASSI 1997). De ce fait, les intervalles variables entre les seuils des déterminants physico-chimiques qui explicitent des degrés différents d'impact sur le milieu sont transformés en classes dont les intervalles sont régularisés par la méthode de calcul elle-même.

Le calcul d'une « classe d'altération moyenne » implique en principe de disposer de toutes les observations représentatives des valeurs dans l'intervalle continu {1 – 100} et d'en calculer la moyenne avant de redéfinir le numéro de la classe correspondante. En pratique, on peut admettre que chaque classe d'altération dont on dispose est affectée au centre de chaque classe.

Dans cette hypothèse, une observation de classe « bleue » vaut 10 (centre de [1 – 20]), une de classe « verte » vaut 30 (centre de [20 – 40]), et ainsi de suite jusqu'à la classe rouge qui vaut alors 90 (centre de [80 – 100]). Réciproquement, le numéro final de la classe est calculé en inversant la valeur finale de l'indicateur continu, mais en utilisant alors non plus *les centres mais les bornes de classe*.

$$\text{Équation 9 : } N = (\text{indicateur}/10 + 2)/2$$

Où N est le numéro de la classe moyenne d'altération recherché.

Calcul de l'index global, à différents niveaux d'agrégation

La méthode de calcul est identique, que ce soit pour évaluer un index moyen ou le numéro moyen de la classe. On calcule tout d'abord un index agrégé par classe de taille de cours d'eau, par bassin.

$$\text{Équation 10 : } IQ_{r,bv} = \sum_{q=1}^5 kmcn_{q,r,bv} \times p_q$$

Où r , q , bv représentent respectivement la classe de taille de cours d'eau, la classe de qualité et le bassin versant. La classe de qualité est codée de 1 à 5 représentant {A1, ..., HC}, {N1, ..., N5}, {E1, ..., E5}. Les valeurs p_q représentent l'indicateur de classe de qualité, selon le choix effectué en application des principes indiqués dans la section « Proposition d'index global de qualité », ci-dessus. Cette équation exprime en fait que la valeur moyenne de la qualité des eaux dans un bassin versant est définie en proportion des quantités $kmcn$ présentant une certaine qualité.

On note ce résultat IQ_r , pour chaque classe r de taille de cours d'eau, avant de convertir en classe de qualité. Cette conversion est immédiate si on a adopté une série de valeurs p_q {1, 2, ..., 5}. On applique l'Équation 9 dans le cas d'une suite {10, 30, ..., 90}.

Le calcul d'un indicateur agrégé regroupant n bassins versants ou au niveau national, relève de la même approche. On doit toutefois tenir compte du fait que l'une ou l'autre des classes de taille de cours d'eau n'est pas représentée dans certains bassins.

Error! Style not defined.

Pour des raisons pratiques, dépendantes du mode de calcul et d'agrégation finale, on procède en deux temps, en calculant tout d'abord une valeur $K_{r,bv}$ qui est la proportion de kmcn par classe de taille et par bassin versant. Ces valeurs sont simplement calculées comme suit :

$$\text{Équation 11 : } K_{r,bv} = \frac{\sum_{i=1}^q kmcn_{r,bv,i}}{\sum_{j=1}^{bv} \sum_{i=1}^q kmcn_{r,bv,i}}$$

Dans un second temps, l'index agrégé par classe de taille de cours d'eau est calculé simplement comme :

$$\text{Équation 12 : } IQ_r = \sum_{j=1}^{bv} IQ_{r,bv} \times K_{r,bv}$$

De même, le calcul d'un index unique, toutes classes de taille confondues est calculé en sommant sur r . L'équation correspondante, triviale, n'est pas développée ici.

VALEURS DES INDEX DE QUALITE OBTENUS

Classes moyennes de qualité par altération

Les résultats numériques obtenus en utilisant la méthode de calcul des classes moyennes de qualité sont les suivants :

Tableau 8 : Résultats comparés des index de classes de qualité agrégées, pour les quatre altérations évaluées

Altération	Classe de taille de cours d'eau				
	<i>Fleuves</i>	<i>G. rivières</i>	<i>Rivières</i>	<i>Ruisseaux</i>	<i>Ensemble</i>
Matières organiques (1992)	3,32	3,05	2,88	2,68	2,98
Matières organiques (1994)	3,06	2,82	2,69	2,75	2,83
Nitrate	2,49	2,30	2,35	2,44	2,39
Proliférations végétales	2,75	2,53	2,43	2,39	2,53

Source : ce rapport.

Avertissement : la colonne « ensemble » n'est pas la moyenne des colonnes précédentes, son calcul résulte d'une pondération en fonction des kmcn de chaque classe de taille de cours d'eau.

Cet index montre immédiatement l'importance de chaque altération et son impact pour chacune des classes de taille des cours d'eau.

La méthode de pondération utilisée ici est plus rigoureuse, sans être parfaite, que la méthode utilisée antérieurement (donnant le numéro moyen de classe de qualité) et dont les résultats ont été publiés dans le REE 1999 (CROUZET et al., 1998) Les valeurs numériques en sont légèrement différentes, exactement de 0,5 classes résultant mécaniquement de la méthode de calcul, sans affecter les conclusions.

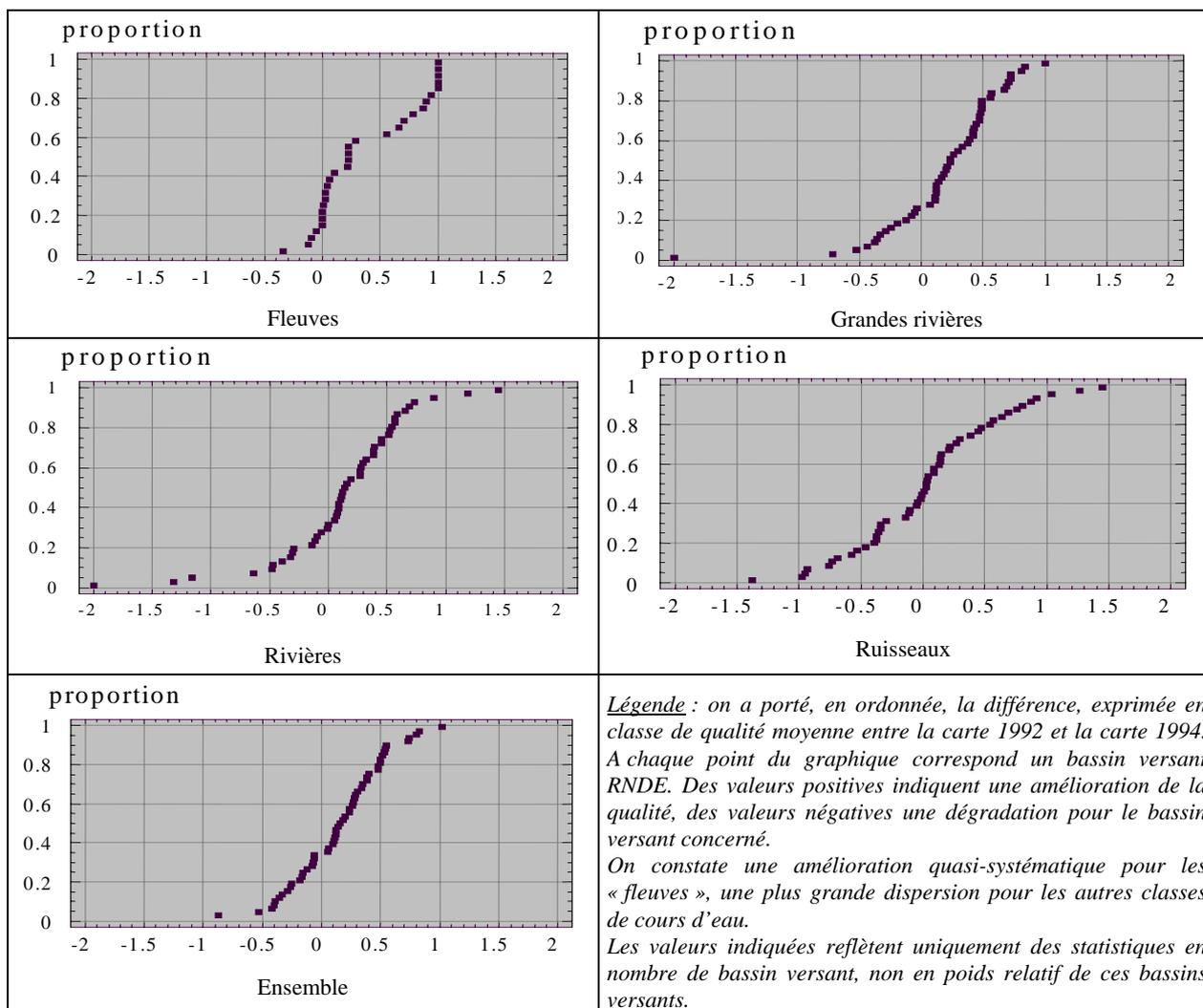
Error! Style not defined.

Comparaison des qualités générales et matières organiques

Les deux cartes montrent une grande différence de taux de renseignement d'un bassin à l'autre et des changements notables de répartition de la qualité des eaux, dont les raisons sont à chercher dans la différence entre les méthodes d'estimation, les variations hydrologiques et l'effet de l'épuration des eaux ou d'autres travaux. Le but de la comparaison n'est d'ailleurs pas tant de discuter de la raison de ces changements, mais davantage d'évaluer les moyens de les exprimer sous une forme synthétique.

Ces différences justifient pleinement l'utilisation d'un index agrégé, des différences sur des valeurs brutes de kmcn ne pouvant donner aucun résultat immédiatement compréhensible. Les résultats sont exprimés sous forme graphique, pour mettre en évidence les variations importantes d'une classe de taille de cours d'eau à une autre.

Figure 16 : Distribution des changements 1992-1994 de la qualité générale, par classe de cours d'eau



Source : données Agences de l'eau - RNB via BNDE, calculs Ifen

Error! Style not defined.

L'importance de la prise en considération de l'importance exacte de chaque élément de cours d'eau est illustrée par le tableau suivant :

Tableau 9 : Comparaison entre la distribution des changements de classe de qualité et l'évolution de la qualité moyenne, par classe de taille de cours d'eau, France métropolitaine

Méthode de calcul	Classe de taille de cours d'eau				
	Fleuves	G. rivières	Rivières	Ruisseaux	ENSEMBLE
Variation moyenne des classes de qualité (moyenne des valeurs de la Figure 16)	0,375	0,190	0,119	0,033	0,105
Différence des moyennes pondérées (cf. Tableau 8)	0,26	0,23	0,21	-0,07	0,15

Il présente en vis-à-vis les variations moyennes de la classe de qualité, calculées en moyennant les valeurs de la Figure 16 et les différences entre les classes moyennes pondérées, tirées du Tableau 8. La comparaison des deux séries de chiffres montre que beaucoup de bassins comportant des « fleuves » ont vu leur qualité s'améliorer, mais que ces « fleuves » ont un poids (représenté par leurs kmcn) relativement faible. De même, les cours d'eau de la classe « ruisseaux » semblent s'être améliorés, alors que les bassins ayant le plus de ruisseaux à fort poids kmcn se sont dégradés, ce qui se traduit par une dégradation globale.

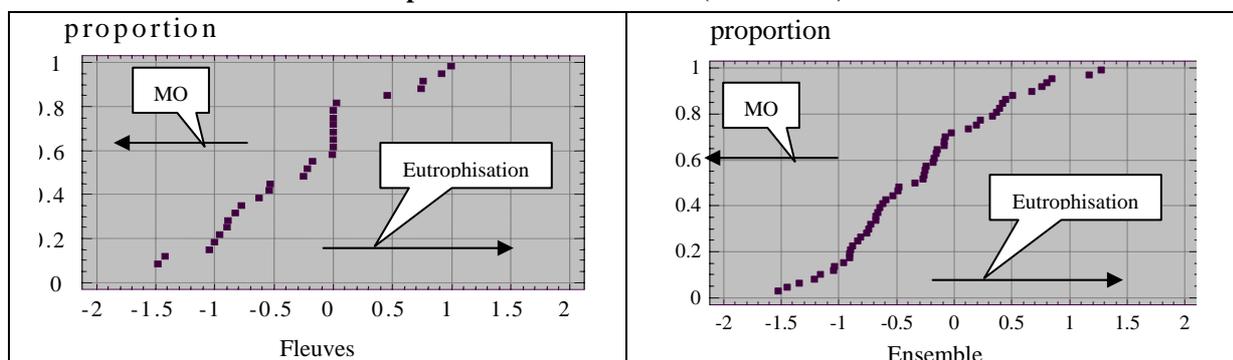
A l'inverse, ce sont les cours d'eau moyens et petits les plus grands, ou sur une plus grande longueur, qui se sont le plus améliorés. Leur variation en index moyen est nettement supérieure à la moyenne d'amélioration par bassin.

Importance relative des différentes pollutions

A partir du moment où une évaluation de la qualité est faite avec un index de même dimension, il devient possible de comparer entre elles des pollutions différentes.

L'eutrophisation des eaux est un phénomène localisé à certains bassins. Dans ceux-ci, elle peut représenter une cause majeure d'appréciation d'une mauvaise qualité des eaux. L'analyse des différences entre les index de qualité exprimés pour les « proliférations végétales » et celui des matières organiques (état 1994) le montre nettement.

Figure 17 : Prépondérance relative des « proliférations végétales » et des « matières organiques » par classe de cours d'eau (année 1994)



Légende : on a porté, en ordonnée, la différence, exprimée en classe de qualité entre la carte « proliférations végétales » et la carte 1994 de la qualité « matières organiques ». Chaque point correspond à un bassin versant RNDE. Des valeurs positives indiquent une prédominance du problème d'eutrophisation, des valeurs négatives une prédominance des problèmes dus aux matières organiques pour le bassin versant concerné. Les valeurs indiquées reflètent uniquement des statistiques en nombre de bassin versant, non en valeur relative de ces bassins versants.

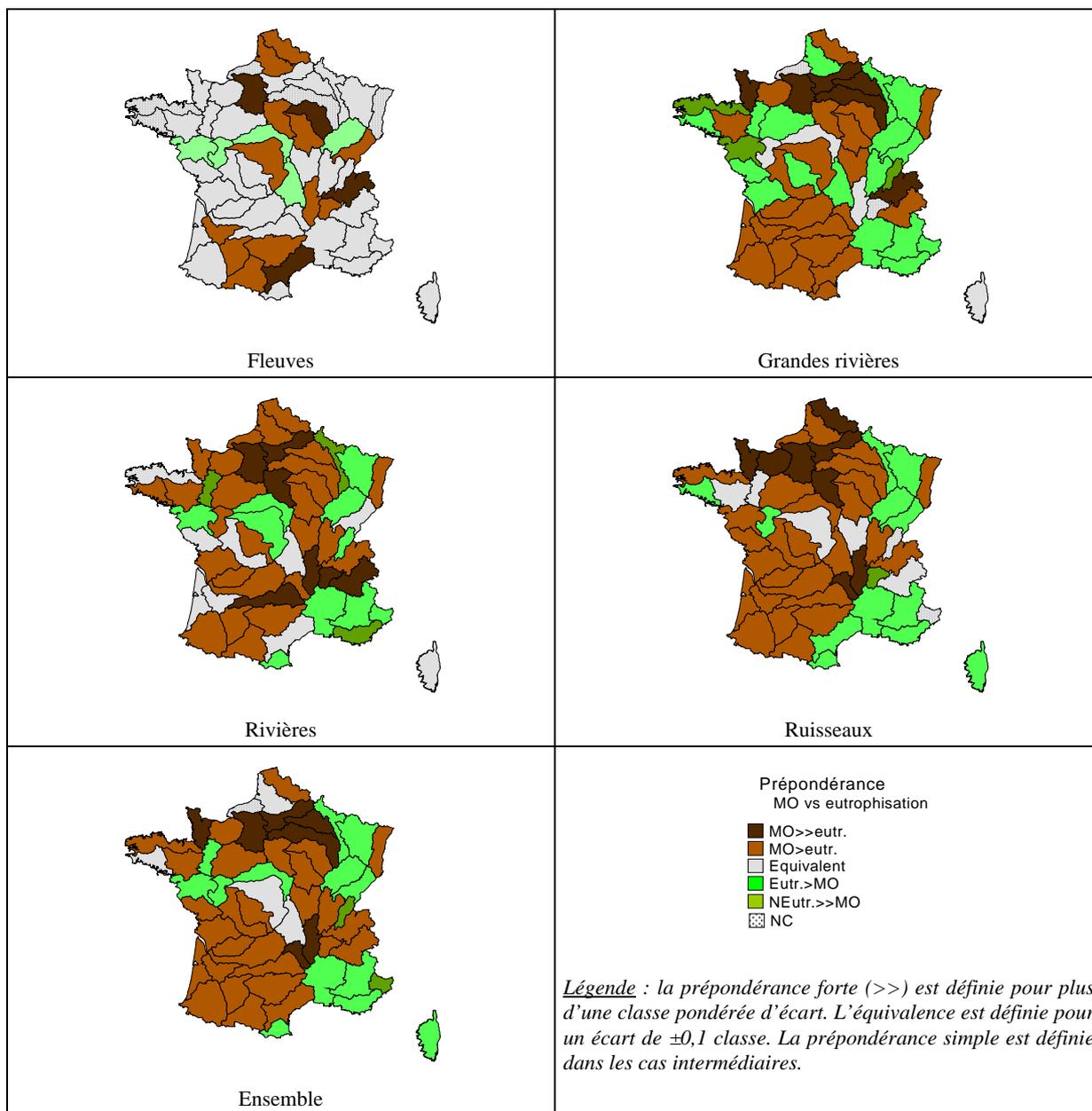
Source : données Agences de l'eau - RNB via BNDE, calculs Ifen

Error! Style not defined.

La statistique en nombre de bassins concernés et en différence d'index combiné montre un autre aspect de l'importance relative de l'eutrophisation et des matières organiques.

Les résultats du Tableau 10 montrent nettement que l'eutrophisation est un problème qui surpasse les matières organiques dans les plus grandes rivières (fleuves et grandes rivières) d'un nombre important de bassins. En revanche, son impact moyen global est nettement inférieur à celui des matières organiques.

Figure 18 : Répartition géographique de la prépondérance respective de l'eutrophisation et des matières organiques dans la qualité des eaux. Etat 1994 de la qualité, par classe de cours d'eau



Source : données Agences de l'eau - RNB via BNDE, calculs Ifen

Error! Style not defined.

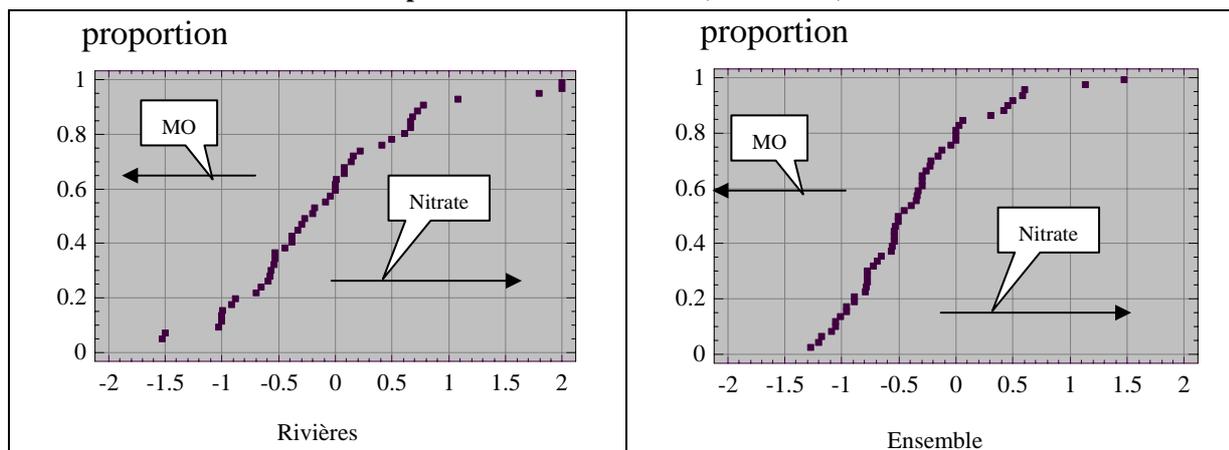
Tableau 10 : Importance relative de l'eutrophisation et des MO dans la qualité des cours d'eau

Classes de cours d'eau	Bassins où les matières organiques sont prépondérantes	Bassins où l'eutrophisation est prépondérante	Moyennes des différences d'index	Différences des index pondérés par les kmcn
Fleuves	17/30 (57%)	13/30 (43%)	-0,41	-0,57
Grandes rivières	30/51 (59%)	21/51 (41%)	-0,27	-0,52
Rivières	34/50 (68%)	16/50 (32%)	-0,39	-0,45
Ruisseaux	37/54 (69%)	17/54 (31%)	-0,40	-0,29
ENSEMBLE	40/55 (73%)	15/55 (27%)	-0,35	-0,45

La carte (Figure 19) montre une prévalence des problèmes d'eutrophisation dans certaines régions : Loire, Ouest et Bretagne, bassins de Rhin-Meuse et côtiers méditerranéens au sens large. Dans ce dernier cas, il semble surtout que les problèmes d'eutrophisation, somme toute assez modérés, se signalent par suite de l'absence de problèmes graves de matières organiques. L'absence de représentants d'une certaine classe de cours d'eau est signalée par un fond grisé. Dans certains bassins cela montre à l'évidence un problème de qualification correcte des types de cours d'eau dans les fonds de carte disponibles.

Une démarche similaire a été conduite pour analyser le cas du nitrate.

Figure 19 : Prépondérance relative de l'altération « nitrate » et « matières organiques » par classe de cours d'eau (année 1994)



Légende : on a porté, en ordonnée, la différence, exprimée en classe de qualité entre la carte « nitrate » et la carte 1994 de la qualité « matières organiques ». Chaque point correspond à un bassin versant RNDE. Des valeurs positives indiquent une prédominance du problème de nitrate, des valeurs négatives une prédominance des problèmes dus aux matières organiques pour le bassin versant concerné.

Les valeurs indiquées reflètent uniquement des statistiques en nombre de bassin versant, non en valeur relative de ces bassins versants.

Source : données Agences de l'eau - RNB via BNDE, calculs Ifen

On a reporté dans la figure ci-dessus la classe « rivière », qui est la plus impactée par le problème du nitrate.

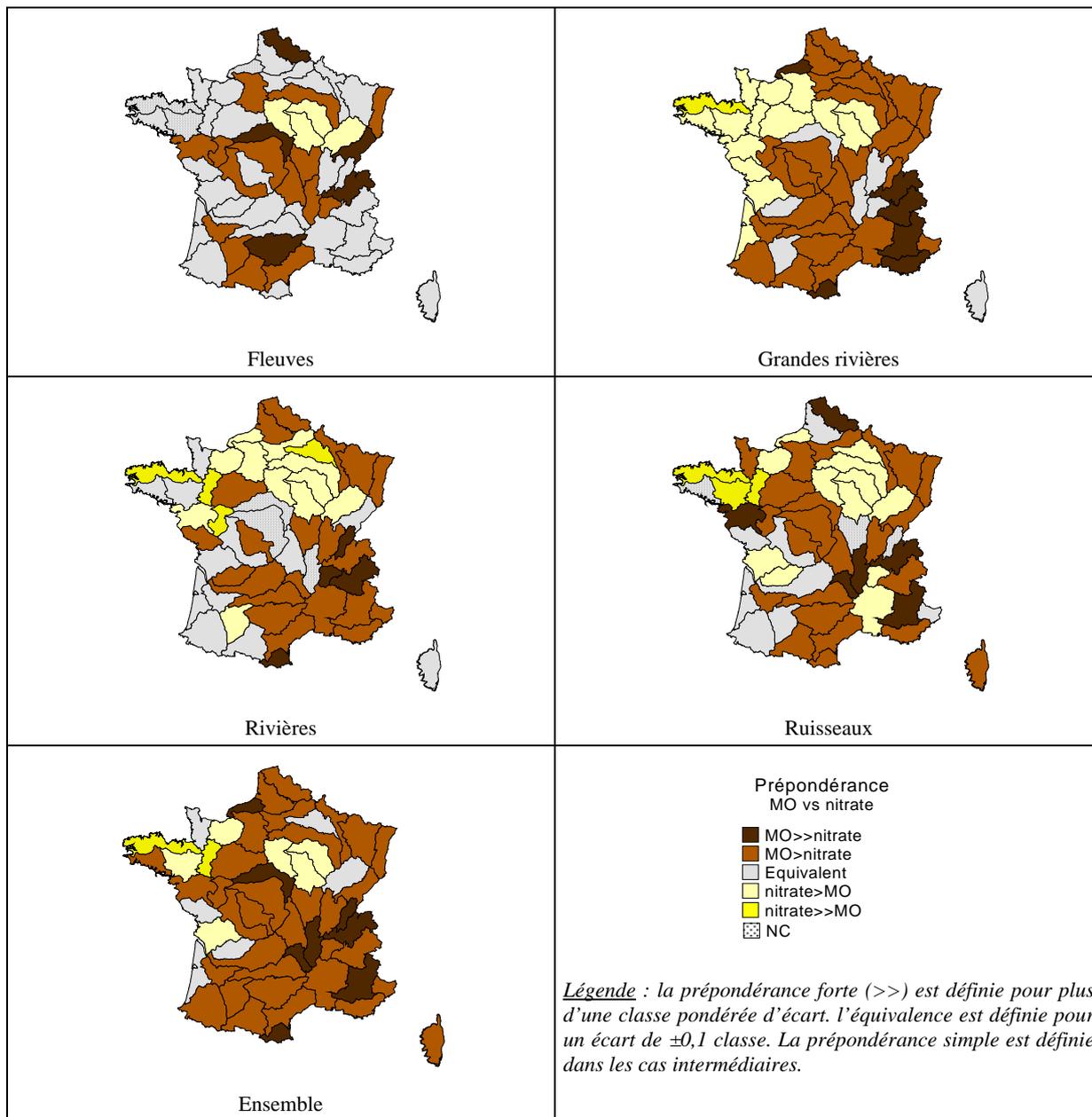
Tableau 11 : Importance relative du nitrate et des matières organiques dans la qualité des cours d'eau

Classes de cours d'eau	Bassins où les matières organiques sont prépondérantes	Bassins où l'eutrophisation est prépondérante	Moyennes des différences d'index	Différences des index pondérés par les kmcn
Fleuves	20/30 (67%)	10/30 (33%)	-0,60	-0,57
Grandes rivières	36/52 (69%)	16/52 (31%)	-0,30	-0,52
Rivières	28/48 (58%)	20/48 (42%)	-0,18	-0,34
Ruisseaux	33/51 (83%)	18/51 (17%)	-0,21	-0,31
ENSEMBLE	42/55 (76%)	13/55 (24%)	-0,41	-0,44

Error! Style not defined.

La régionalisation de l'impact relatif du nitrate et des matières organiques est facilement visualisable en cartographiant en 5 classes l'écart de l'index de qualité par bassin et classe de taille de cours d'eau.

Figure 20 : Répartition géographique de la prépondérance respective du nitrate et des matières organiques dans la qualité des eaux. Etat 1994 de la qualité générale, par classe de cours d'eau



Source : données Agences de l'eau - RNB via BNDE, calculs Ifen

La carte (Figure 20) montre une forte prévalence des problèmes de nitrate dans des régions fortement agricoles. Elle n'apparaît pas dans tous les cas, notamment pas suite de l'absence de certains types de cours d'eau dans les bassins principalement côtiers. L'absence de représentants d'une certaine classe de cours d'eau est signalée par un fond grisé. La présence (ou l'absence de fond) dans certains

Error! Style not defined.

bassins montre à l'évidence un problème de qualification correcte des types de cours d'eau dans les fonds de carte disponibles.

DISCUSSION

LES APPORTS DE LA METHODE COMPTABLE

Les apports de la méthode comptable à la valorisation des données de la qualité des eaux sont nombreux et riches d'enseignements.

Tout d'abord, l'application de la méthodologie définie il y a près de 15 ans n'a pu être menée à bien qu'après que le RNDE eut procédé à l'organisation nationale de la collecte de données et à leur mise en forme. Cette collecte et mise en forme n'ayant pas été conduites dans l'objectif d'une valorisation ultérieure de type comptable, une méthodologie simplifiée a dû être imaginée. Il faut distinguer maintenant :

- les enseignements de la méthode simplifiée,
- les sous-produits qu'elle a permis de dégager,
- les améliorations nécessaires à la réalisation complète des comptes, notamment le compte central et les liaisons avec les comptes de ressource,
- les extensions possibles de la méthode comptable, notamment en ce qui concerne la production d'index globaux de l'évolution de la qualité des eaux, tout particulièrement dans le cadre EUROWATERNET (LEONARD and CROUZET, 1999).

Les enseignements de la méthode simplifiée

Le principal enseignement tiré de l'expérience de la méthode simplifiée est sa relative facilité de mise en œuvre, notamment après que les principaux modules de constitution et de prétraitement des données aient été implémentés dans la base thématique atelier de l'Ifen.

Malgré la simplification extrême de la composante hydrologique du calcul des comptes satellite, ceux-ci conservent l'essentiel de leur signification. Le corollaire de cette simplicité de mise en œuvre est la quasi-impossibilité de produire à partir de cette méthode un compte central au même niveau de détail que les comptes satellites. Un compte central agrégé serait en revanche tout à fait possible. Cette difficulté est sans conséquence pratique dans la mesure où les données, même pour un compte central agrégé, ne sont pas encore disponibles.

En revanche, la réalisation de comptes satellites démonstratifs à un coût très réduit permet de démontrer l'intérêt de la méthode comptable, notamment dans ses sous-produits directement utilisables. Ces sous-produits n'étaient pas envisagés dans la méthodologie de base. D'un certain côté, l'impossibilité de réaliser immédiatement le compte central a incité à imaginer ces sous-produits qui, sinon, n'auraient peut-être pas été développés.

Les sous-produits

La production d'un index global de qualité s'appuie sur le développement du Système d'Evaluation de la Qualité / volet Eau (SEQ-Eau). Le support théorique de cet index, et l'amélioration des données de base devront faire l'objet de validation. Dans l'état actuel, l'index global est seulement une agrégation des composantes du compte satellite en fonction des classes de qualité définies par le SEQ-eau.

Error! Style not defined.

L'intérêt de l'index global de qualité pour évaluer les grandes tendances de la qualité des eaux est suffisamment grand pour justifier son analyse dans le cadre à la fois du SEQ et de la méthodologie des comptes.

Les améliorations possibles au tableau de synthèse

L'amélioration de l'information produite dans le cadre des Comptes en qualité s'inscrit dans l'amélioration des résultats du tableau de synthèse, dans la perspective de constitution du compte central et dans la valorisation commune des travaux relatifs aux comptes et à la production des résultats dans le cadre EUROWATERNET.

Améliorations possibles de la méthode simplifiée

L'amélioration des résultats du compte satellite passe obligatoirement par celle des données de base relatives à la qualité des eaux. Il y a un travail en commun avec le RNDE de manière à localiser correctement les attributs de qualité des cours d'eau. Cet examen doit bien évidemment être conduit dans le contexte plus général de la représentativité des réseaux d'observation et du traitement corrélatif des données de qualité des eaux.

La méthode simplifiée peut être améliorée à la marge, principalement par une affectation correcte des classes de qualité aux bonnes classes de taille des cours d'eau. Cette amélioration est possible et ne nécessite, dans le cas des données anciennes, qu'un travail de ressaisie des classes de qualité sur un fond hydrographique correct. S'agissant des nouvelles cartes attendues, elles pourraient être directement traitées sur ce fond.

Dans ce cas, et sans compliquer l'affectation des débits de référence, il serait possible de porter à 5 ou 6 le nombre de classes de tailles des cours d'eau, ce qui aurait pour résultat de diminuer les risques de biais dans le calcul des kmcn.

Le moyen en est aussi dans la qualité du système d'information géographique, et notamment l'harmonisation de la BD CARTHAGE, dont l'évaluation est en cours.

S'agissant des débits, ils sont à considérer dans le cadre de la représentativité des réseaux hydrométriques et de la constitution de la base de calcul des Comptes de ressource en eau. Dans ce cadre, une méthode semi-simplifiée est proposée.

Apports des Comptes de ressource. La méthode semi-simplifiée

Les Comptes de ressource, qui font l'objet d'un rapport distinct (CROUZET, 1999) fait appel à des sources de données dont certaines sont communes avec les comptes en qualité :

- le réseau hydrographique principal, défini comme les rivières constituant les drains principaux des zones hydrographiques de la BD CARTHAGE. La constitution de cette couche se révèle plus compliquée que prévu, car l'information relative à ces drains, constitutive des spécifications de la BD CARTHAGE (RNDE 1996d), s'est avérée mal ou pas renseignée,
- les données hydrologiques par tronçon de calcul, à partir des données de la banque HYDRO, en utilisant un modèle implanté dans la base thématique de l'Ifen,
- le prélèvement et la consommation en eau, à partir de données factuelles collectées par l'Ifen ou extrapolées.

Error! Style not defined.

On a vu que les principales incertitudes de l'application de la méthode simplifiée proviennent :

3. de l'affectation parfois fantaisiste d'un type de cours d'eau à un segment de dessin dans les cartes de qualité disponibles (présence de « fleuves » en Bretagne sud, alors que la bassin de la Vilaine n'en comporte pas, absence de « ruisseaux » en Bretagne sud, dans la Loire en aval de Villerest { alors que le Morvan est inclus dans ce bassin }, etc.),
4. de l'impossibilité de calculer des débits corrects sur les amonts des bassins, ce qui cause un biais, inhérent à la méthode simplifiée,
5. des multiples erreurs et surcharges des cartes, causant des doubles comptes (normalement corrigés lors de la préparation des cartes), et des erreurs plus fondamentales d'affectation de la qualité à un segment de cours d'eau. Dans la même problématique se situe le principe même d'affectation en classes, et non pas en valeur continue de l'altération.

Les premières améliorations évidentes de la méthode consistent à ne plus prendre dans les cartes de qualité que les seules données relatives à la qualité. Les autres données seront tirées du développement réalisé pour les Comptes de ressource. En particulier, le débit sera pris sur la base de données par drain principal en cours de constitution. Ceci présentera trois améliorations conséquentes, qui constituent l'essentiel de la méthodologie semi-simplifiée.

La première amélioration provient de la fixation du réseau hydrographique sur une base nationale considérée comme un système de référence, malgré ses nombreuses imperfections. Moyennant quelques améliorations, ou ajouts d'information dérivée, il sera possible de définir la classe de taille des cours d'eau au moyen de critères objectifs, comme la longueur, la superficie du bassin versant amont, etc. Des critères seront néanmoins à définir, mais étant établis sur une base de données, des ajustements resteront possibles.

La seconde amélioration est la suppression du biais, démontré et partiellement quantifié, résultant de l'application de la méthode simplifiée. La suppression de ce biais se fera surtout sentir sur les amonts des cours d'eau, donc principalement sur la classe des ruisseaux et des rivières. Le poids relatif de ces deux classes de taille de cours d'eau risque de changer la répartition des index de qualité entre classes de cours d'eau. Dans l'avenir, un recalcul systématique est donc indispensable. La suppression du biais résultant du calcul des débits sur une base géographique présente un avantage complémentaire de permettre l'affectation et l'agrégation des index de qualité en fonction de critères administratifs et non plus seulement en fonction du seul bassin versant de base ayant servi aux calculs. La présentation de résultats à l'échelle régionale est donc une possibilité ouverte par la constitution d'une base hydrologique mixte Comptes en qualité / Comptes de ressource.

Le troisième avantage est la possibilité, à partir d'une base hydrologique complète, de mieux définir et choisir la base de référence du débit utilisé pour quantifier les kmcn associés, en fonction de la nature du descripteur de qualité retenu. Pour l'instant, on ne prend en compte que le module annuel, qui est le seul descripteur hydrologique accessible à la méthode simplifiée. Le module n'est pas nécessairement le meilleur quantificateur de l'importance relative des cours d'eau vis-à-vis de la pollution. Par exemple, la matière organique ne présente pas d'effet significatif pour des débits élevés, mais au contraire elle se manifeste pendant les périodes de basses eaux.

Error! Style not defined.

Dans le cas de la matière organique, un débit de référence proche de celui pris en considération pour la définition des objectifs de qualité (en général, le VCN30 quinquennal¹⁰). Cette référence pourrait aussi s'appliquer pour traiter les Comptes en qualité relatifs à l'eutrophisation. En revanche, on peut s'interroger sur la pertinence d'une référence d'étiage pour traiter du nitrate, dont la présence en excès est plus fréquente en hautes eaux.

En résumé, la méthode semi-simplifiée, qui fait appel à des références géographiques et hydrologiques fiables, ne demande pas une source nouvelle de données de qualité des eaux : elle est un simple perfectionnement de la méthode simplifiée, qui valorise plus complètement les données constituées spécialement pour la réalisation des Comptes de ressource.

LES COMPLEMENTS NECESSAIRES AU COMPTE CENTRAL

Le compte central comporte la mise en relation entre les éléments du compte satellite et les causes de changement.

Ces causes ne sont pas toutes connues. S'agissant de la qualité, les changements en termes d'émission de polluant sont, dans tous les cas de figures, une composante essentielle de la qualité, sous réserve de ne mettre en relation que des substances émises et des déterminants de qualité compatibles. Un essai d'unification pourra être conduit grâce au développement pilote réalisé sur le calcul intégré des émissions de la circonscription de bassin Loire-Bretagne.

Les changements de nature hydrologiques sont par définition connus à partir du moment où on utilise la base de données des Comptes de ressource pour réaliser le compte satellite de qualité.

LES APPORTS DU PROJET EUROWATERNET

EUROWATERNET est un processus de constitution d'un réseau européen de données relatives à l'eau. La première réalisation concrète est la définition d'une méthode de définition d'un réseau représentatif, à l'échelle européenne. La France a pris l'initiative de développer un projet pilote, (LEONARD *et al.* 1997) puis un prototype de phase 1 (LEONARD and CROUZET, 1999) appliqué au Réseau national de bassin d'observation de la qualité des eaux (RNB). La réalisation des cartes de qualité utilisées dans ce rapport fait également appel aux données du RNB, mais sans que la méthode de constitution soit bien définie ni fixée.

OUVERTURES VERS UNE APPLICATION COMPLETE DE LA METHODE

L'application complète de la méthode consiste à utiliser pleinement les avancées en termes de représentativité des réseaux d'observation. Deux hypothèses sont à ce jour envisagées.

La première est que la RNDE produise des cartes de qualité des eaux selon une méthode reproductible et bien définie. Des études sont en cours à cette fin, et il est attendu de nouvelles cartes, toujours basées sur la méthode SEQ-Eau, à partir de l'an 2000. Une amélioration à la marge des procédures de constitution de la couche informatique permettrait de bien valoriser ces cartes dans le cadre comptable, y compris par la méthode simplifiée. Toutefois, l'hypothèque résultant du rendu en classes de qualité ne serait pas levée, pas plus que celle résultant de la plus ou moins grande représentativité des cours d'eau représentés sur la carte.

¹⁰ Plus petit débit moyen de 30 jours consécutifs de l'année, tel qu'on l'observe en moyenne 20 fois par siècle.

Error! Style not defined.

La seconde hypothèse, plus ambitieuse, s'appuie sur les travaux en projet de constitution d'un prototype de phase 2 pour le réseau EUROWATERNET. La base méthodologique est en effet de considérer le réseau comme un système de sondage stratifié et représentatif des différentes classes de cours d'eau. Pour l'instant, le système de stratification utilisé porte davantage sur les différences dans les pressions anthropiques exercées sur le bassin versant et secondairement sur les tailles de cours d'eau.

Cette seconde hypothèse est un chantier très important toutefois, car c'est la seule qui permettrait de lever l'hypothèque de la restitution de la qualité en classes, en fournissant des indications continues sur les valeurs de descripteurs de la qualité, à savoir la valeur continue de l'altération selon la procédure SEQ-eau. Des traitements selon cette méthode resteraient comparables aux exploitations réalisées avec les méthodes simplifiée ou semi-simplifiée, à la précision près du résultat.

Ces incertitudes ne remettent pas en cause la pertinence de l'approche, qui demeure à ce jour la seule susceptible de quantifier la qualité et donc de fournir des éléments comparables et agrégeables destinés au public et aux décideurs et autorisant de surcroît des évaluations croisées avec d'autres informations.

ARTICULATION ENTRE LES DIFFERENTS NIVEAUX DES COMPTES

Tableau 12 : Articulation entre les comptes et les étapes méthodologiques

Méthodologie	Tableau de synthèse		Compte central	Extérieur
Simplifiée	Qualité : Cartes linéaires non localisées Débit : par classe de taille de cours d'eau, statistique pour une classe	Qualité	Niveau national : possible. Niveau bassin versant RNDE : impossible.	Emissions, pilote LB
Semi-simplifiée	Qualité : Cartes linéaires, avec localisation. Débit : base de données des comptes de ressource, modélisé.		Niveau bassin versant RNDE : possible, au pas de temps des données qualité / causes de changements. Pilote simplifié envisageable	
Complète	Qualité : réseaux représentatifs (EUROWATERNET), avec localisation partielle. Débit : base de données des comptes de ressource, modélisé.		Niveau bassin versant RNDE : idem Prototype national envisageable	Emissions prototype national, Réseau qualité représentatif
Simplifiée	Débit valeurs de référence (Cf. qualité méthode simplifiée), mais à l'exutoire. Eaux souterraines : prise en compte multiannuelle Usages : statistiques par type d'usage, moyenne sur une période.	Ressource	Niveau national : envisageable. Niveau bassin versant RNDE : impossible. Pilote national simplifié envisageable	
Semi-simplifiée	Débit : modélisé sur le réseau hydrographique principal. Eaux souterraines : prise en compte multiannuelle Usages : par année, évolution prise en compte.		Niveau bassin versant RNDE : possible, au pas de temps des données usages de l'eau Prototype national envisageable	RNDE, prélèvements et usages de l'eau
Complète	Débit : modélisé sur le réseau hydrographique principal. Eaux souterraines : prise en compte des réseaux patrimoniaux. Usages : par année, évolution prise en compte.		idem	RNDE Eaux souterraines

Légende : en grisé, réalisé ou en cours de réalisation. En caractères normaux, actions envisageables dans une prochaine étape. En italique, actions envisageables seulement à moyen terme, car dépendant de sources de données indisponibles à court terme. Les flèches noires indiquent une relation qui peut être réalisée immédiatement, en grisé une relation différée.

On a résumé dans le tableau ci-dessus l'articulation entre les comptes en qualité, de ressource, satellite et central en fonction des perfectionnements méthodologiques envisagés. Les flèches en surcharge indiquent des contributions entre niveaux ou l'extérieur.

Le tableau donne une idée de l'ampleur des tâches qui restent à réaliser pour compléter la production régulière des comptes physiques de l'eau, ainsi que de l'étroite interdépendance des comptes et de la base thématique des eaux continentales en cours de constitution à l'Ifen.

Error! Style not defined.

BIBLIOGRAPHIE

- Anonyme. (1998). "Système d'évaluation de la qualité des eaux des cours d'eau, SEQ-eau", Rapport final de validation, Office International de l'eau, Paris, 23.
- ASSI. (1997). "Système d'évaluation de la qualité des eaux des cours d'eau, SEQ-eau. Etude de rodage. Rapport final", Office International de l'eau, Paris, 75 et annexes A, B, C, D, E.
- CICPN. (1986). "Les comptes du patrimoine naturel", J.-L. Weber, INSEE, Paris, 552.
- Crouzet, P. (*à paraître*). "Les Comptes de l'eau. Ressource", Institut français de l'environnement, Orléans.
- Crouzet, P., Babillot, P., and Leonard, J. (1998). "Les eaux continentales." L'Environnement en France, T. Lavoux, éd. La Découverte - Syros et Institut Français de l'Environnement, Paris, 16-38.
- Crouzet, P., Le Gall, G., and Germain, C. (*à paraître*). "Evaluation intégrée des émissions. Méthodologie générale et application au bassin Loire-Bretagne", Notes de méthode, Ifem, Orléans.
- Heldal, J., and Østdahl, T. (1984). "Synoptic monitoring of water quality and water resources. A suggestion on population and sampling approaches", Statistical Journal Of the United Nations, ECE2, 393-406.
- IFEN. (1999). "Rapport à la Commission des Comptes et de l'économie de l'Environnement", Ifem, Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, Paris.
- Leblanc, C., and Crouzet, P. (1999). "Integrated Assessment of Emissions to Water for Europe", ETC/IW, EEA, Copenhagen.
- Leonard, J., and Crouzet, P. (1999). "Contribution to EUROWATERNET. River water quality in France. National prototype (phase 1)", Institut français de l'environnement, Office International de l'eau.
- Leonard, J., Crouzet, P., and Bordet, J.-P. (1997). "Réseau de suivi des eaux continentales de l'agence européenne de l'environnement. Projet pilote en France", Agences de l'eau, Institut français de l'environnement, Office international de l'eau, Orléans.
- Margat, J. (1995). "Contributions au dictionnaire des sciences hydrologiques."
- Margat, J. (1996). Les ressources en eau. Conception, évaluation, cartographie, comptabilité, Editions BRGM, Orléans.
- Meybeck, M., Marcilly, G. d., and Fussec, E. (1998). "La Seine en son bassin", Elsevier, Paris, 756.
- Oudin, L.-C., and Maupas, D. (1999). "Système d'évaluation de la qualité des eaux des cours d'eau, SEQ-eau. Version 1", Office International de l'eau, Paris, 59, annexe A : 282 pages, annexe B : 23 pages.
- RNDE. (1993a). "La qualité des eaux. Etat actuel (qualité générale)", OIEau/IOWater.
- RNDE. (1993b). "La qualité par tronçon de cours d'eau. Objectifs", OIEau/IOWater.

Error! Style not defined.

RNDE. (1994). “Débit des cours d'eau. 10 ans d'observation. Synthèse sur 200 stations de mesure en France (19884-1993)”, RNDE, Limoges.

RNDE. (1996a). “Carte linéaire de la qualité des cours d'eau. Pollution de l'eau par le phosphore et les proliférations végétales”, OIEau/IOWater.

RNDE. (1996b). “Carte linéaire de la qualité des cours d'eau. Pollution de l'eau par les matières organiques et l'ammonium.”, OIEau/IOWater.

RNDE. (1996c). “Carte linéaire de la qualité des cours d'eau. Pollution de l'eau par les nitrates”, OIEau/IOWater.

RNDE. (1996d). “Spécifications de la structure de la base de données cartographiques BD CARTHAGE. Version 2.4.”, RNDE, Limoges.

ANNEXES

ANNEXE 1 : FORMAT DU TABLEAU DE RESTITUTION DU COMPTE CENTRAL	61
ANNEXE 2 : VALEURS NUMERIQUES DES KMCN.....	62
ANNEXE 3 : MODULE « COMPTES DE L'EAU EN QUALITE » DE LA BASE THEMATIQUE ATELIER « EAUX CONTINENTALES ».....	64
ANNEXE 4 : REPRODUCTION DES CARTES UTILISEES POUR LA REALISATION DU TRAVAIL PILOTE DE COMPTABILITE PRESENTE DANS CE DOCUMENT	65

Error! Style not defined.

ANNEXE 2 : VALEURS NUMERIQUES DES KMCN

Référence : Carte de l'altération matières oxydables - données 1994, édition 1996 (RNDE, 1996b)

BVRNDE	« Fleuves »		« Grandes rivières »		« Rivières »		« Ruisseaux »	
	Longueur (km)	UMEC (kmcn)	Longueur (km)	UMEC (kmcn)	Longueur (km)	UMEC (kmcn)	Longueur (km)	UMEC (kmcn)
0101	10.6	1254	778.2	91672	205.8	14170	843.9	46718
0102	9.1	889	430.4	42208	116.4	6458	488.3	22020
0201	8.2	1381	583.7	98304	501.1	54520	348.4	15518
0202	0.0	0	671.7	64961	22.4	936	488.0	19552
0203	0.0	0	856.2	164835	484.9	53683	651.7	41139
0301	314.0	21805	190.7	9637	153.5	5995	462.7	13793
0302	251.3	24765	423.9	34002	347.5	17106	309.5	7372
0303	186.0	38630	207.2	6881	256.8	6794	545.0	9849
0304	78.9	26401	972.8	116539	399.8	22935	541.5	17506
0305	0.0	0	558.6	44381	160.6	6016	308.9	7528
0306	12.7	2026	386.5	30332	143.0	7249	559.1	22642
0307	290.2	160136	358.6	16624	148.8	4654	599.0	14977
0308	56.9	33239	0.1	4	130.2	3595	237.6	4238
0309	0.0	0	276.1	18995	221.2	11876	760.4	31614
0310	0.0	0	91.4	9821	239.1	23644	815.8	62386
0401	262.8	22837	0.0	0	98.5	6741	872.5	53733
0402	411.2	83289	109.8	9184	365.8	27523	634.0	29865
0403	0.0	0	155.1	10216	73.5	3524	338.8	13333
0404	5.7	1122	464.1	60478	0.8	65	757.0	61142
0405	478.4	225832	0.0	0	217.2	10308	718.4	26175
0406	218.2	26727	691.3	77261	257.8	19547	1204.2	75175
0407	0.0	0	239.9	19296	251.7	16417	772.9	38065
0408	12.0	2731	445.7	65201	0.0	0	1041.6	106734
0409	80.3	68920	117.2	3886	64.1	1716	431.4	10059
0410	0.0	0	541.7	39319	240.3	12218	1025.7	42265
0411	0.0	0	176.1	4422	80.5	1576	539.2	9178
0412	44.3	7044	174.7	27185	291.3	40856	1309.2	150218
0413	28.8	2495	154.9	12961	185.7	12709	511.9	25715
0414	64.8	4703	297.5	20664	345.7	19365	893.9	36114
0415	166.9	172450	136.2	9487	319.3	20369	1126.3	56207
0416	38.7	2058	226.6	11749	91.6	4022	1172.3	47751
0501	247.9	82202	274.2	79890	443.6	109406	1061.2	184529
0502	32.5	7530	576.0	132819	837.7	141570	740.7	58694
0503	231.4	143113	570.8	27319	314.9	9701	718.4	15388
0504	0.0	6	409.3	71388	300.6	37436	722.4	63549
0505	196.1	171020	188.4	15649	0.0	0	564.3	26216
0506	0.0	0	683.6	255644	324.0	88244	1505.1	337417
0507	0.0	0	378.0	29984	135.7	6795	512.7	20317
0508	75.6	4966	495.3	31291	297.7	13964	1116.8	41439
0509	0.0	0	128.6	5632	17.7	685	967.5	36728
0510	0.0	0	902.8	424501	454.6	142802	1371.5	323654

Error! Style not defined.

Suite du tableau de l'Annexe 2

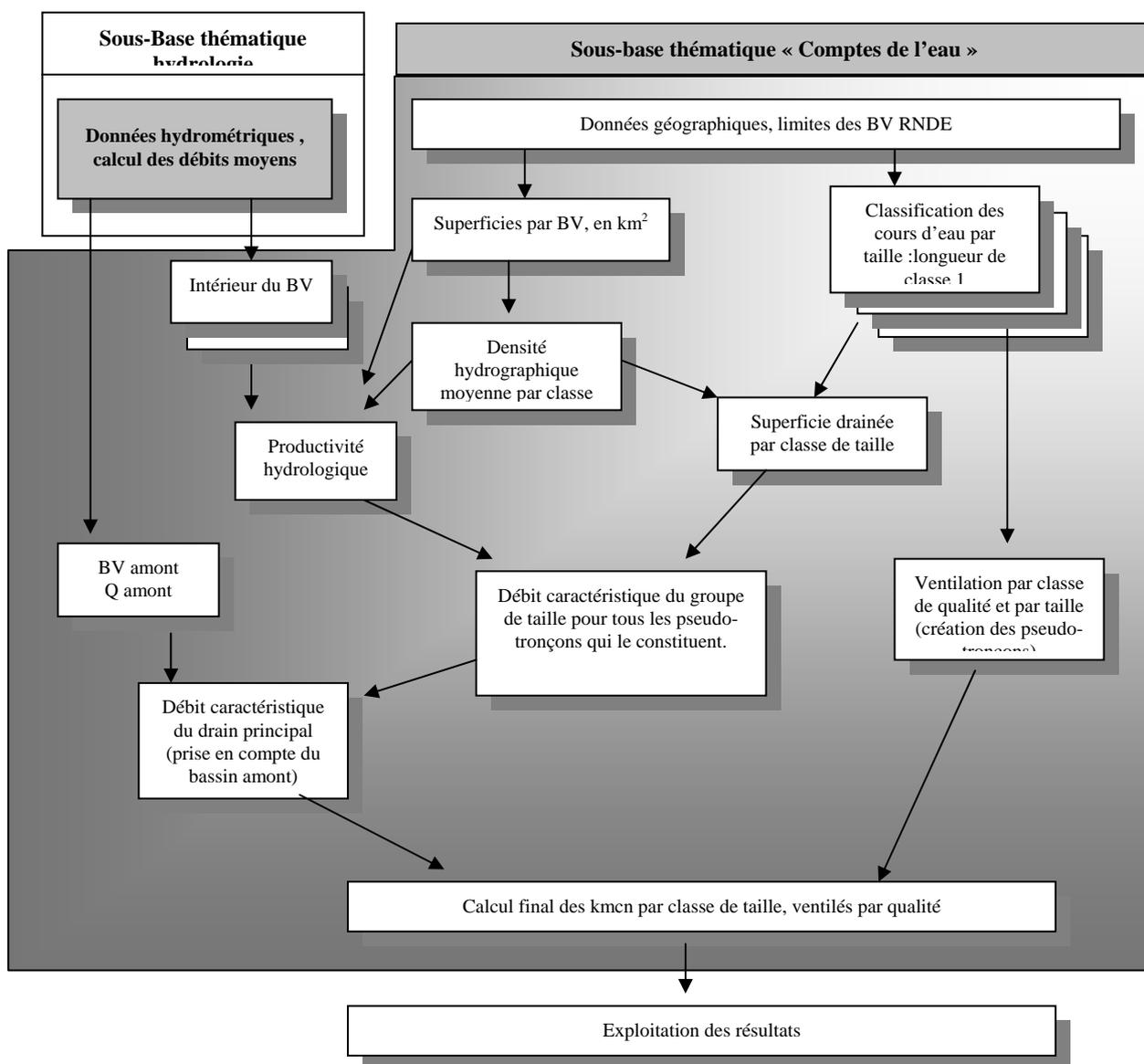
BVRNDE	« Fleuves »		« Grandes rivières »		« Rivières »		« Ruisseaux »	
	Longueur (km)	UMEC (kmcn)	Longueur (km)	UMEC (kmcn)	Longueur (km)	UMEC (kmcn)	Longueur (km)	UMEC (kmcn)
0601	275.3	313022	92.3	29957	195.0	57540	716.9	166489
0602	174.9	29261	450.2	66269	287.3	27677	556.7	35402
0603	68.8	19014	499.7	127039	0.0	0	302.2	29585
0604	12.0	6888	251.1	33011	316.2	33026	649.0	45368
0605	94.4	111225	0.2	6	72.9	2308	283.1	7126
0606	1.4	421	591.6	175555	37.9	6673	816.0	137240
0607	466.5	995212	328.3	82873	924.6	203964	1304.2	166981
0608	5.1	1827	624.3	223502	595.1	149304	878.0	131199
0610	14.7	1371	171.6	15804	316.6	23713	436.4	19094
0611	0.0	0	110.8	6306	105.2	4654	280.7	9041
0612	0.0	0	0.0	0	0.0	0	1076.3	212921
0613	230.4	61136	520.6	120661	18.8	2903	1031.6	157041
0614	0.0	0	163.3	9608	85.1	3184	195.4	5098
0615	0.0	0	214.2	31945	56.0	4373	180.1	10734
Total	5156.7	2878949	19342.2	3117158	12552.0	1506509	39296.2	3359833
Pourcentage du total	7%	27%	25%	29%	16%	14%	51%	31%
Total rivières:	76347.1 km							
Total kmcn:	10862450 kmcn							

Les valeurs dans le tableau ci-dessus sont les valeurs de kmcn, arrondies à l'unité. Ces valeurs sont celles utilisées pour la carte Figure 5, page 28 du texte principal.

Error! Style not defined.

ANNEXE 3 : MODULE « COMPTES DE L'EAU EN QUALITE » DE LA BASE THEMATIQUE ATELIER « EAUX CONTINENTALES »

La base thématique atelier des eaux continentales a été développée à partir de la plate-forme NOPOLU *Système 2* de la Sté BETURE-CEREC. Des modules de traitement permettant d'exploiter, combiner et modéliser plusieurs ensembles d'information. Elle comportait en août 1999 des données relatives aux ensembles suivants : Comptes en qualité, Qualité des eaux de surface, émissions polluantes (agriculture, villes, industries), les pluies efficaces, les débits des cours d'eau, les surplus agricoles. Le calcul des flux en des points particuliers et le calcul des comptes de ressource est en cours d'implémentation. La procédure comporte le lien dynamique entre les deux sous-bases thématiques « hydrologie » et « comptes de l'eau » et permet un traitement externe des données à partir de fichiers de résultats exportés en format tableur.



**ANNEXE 4 :
REPRODUCTION DES CARTES UTILISEES POUR LA REALISATION
DU TRAVAIL PILOTE DE COMPTABILITE PRESENTE DANS CE DOCUMENT**

Cette annexe comporte 4 cartes en couleurs :

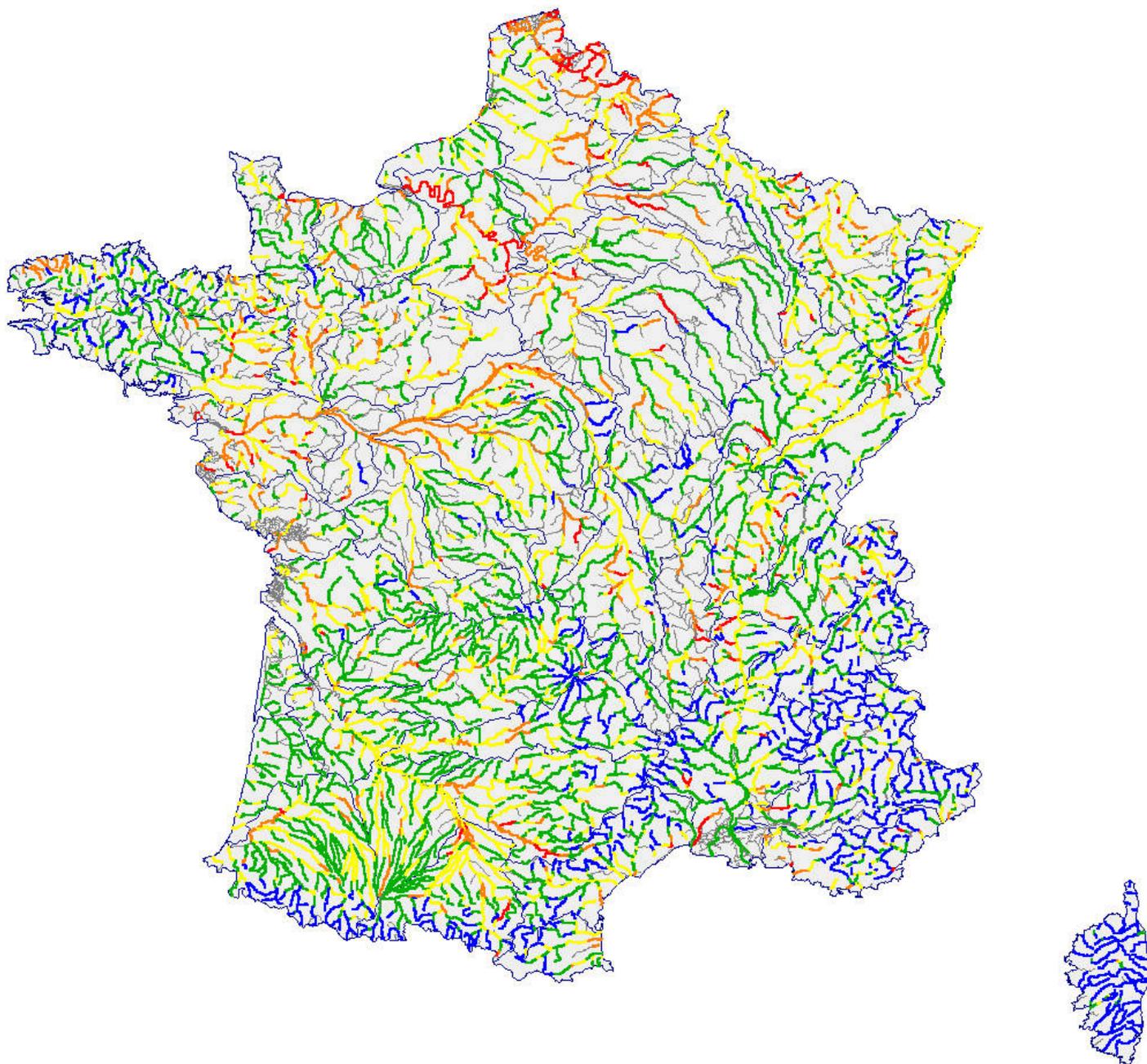
- Carte n° 1 (RNDE 1993a)
- Carte n° 2 (RNDE 1996b)
- Carte n° 3 (RNDE 1996c)
- Carte n° 4 (RNDE 1996a)

Les reproductions papiers de ces cartes sont actuellement épuisées et ne peuvent donc être obtenues auprès du RNDE.

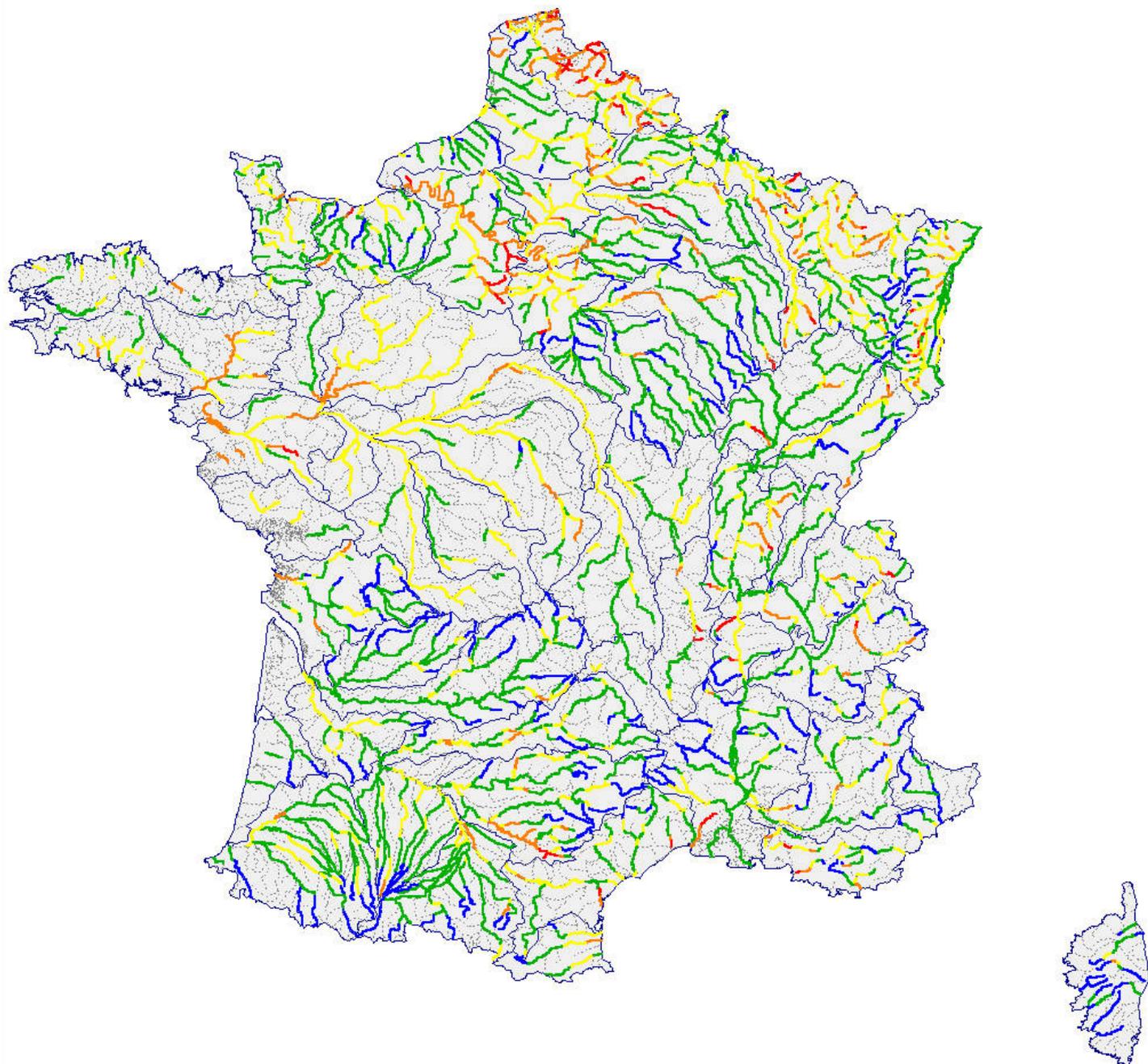
Les limites indiquées sur les cartes sont celles des 55 bassins versants du Réseau national des données sur l'eau (RNDE).

Error! Style not defined.

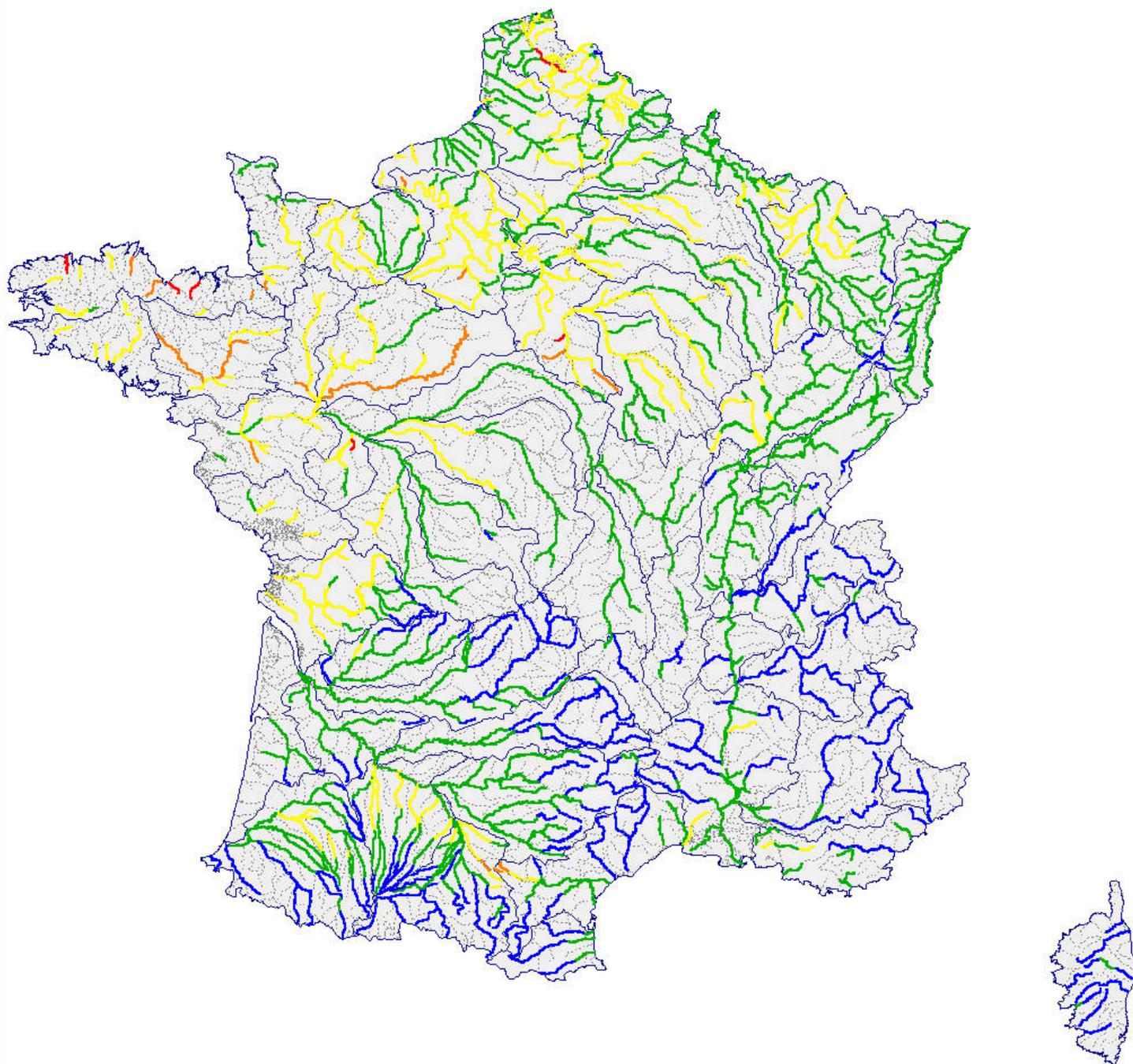
Figure 21 : Qualité générale 1990-1992



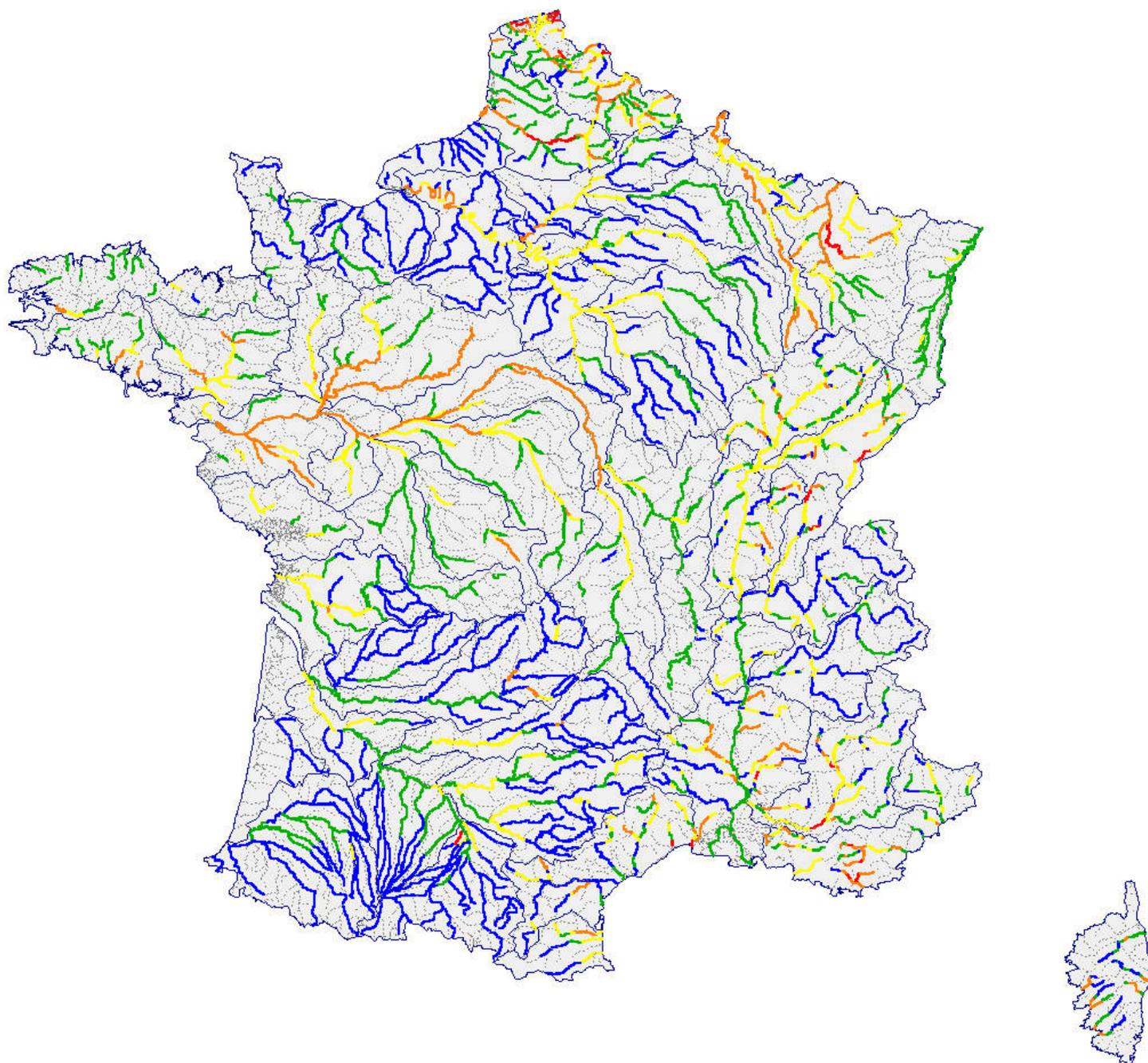
- en bleu, qualité excellente
- en vert, qualité bonne
- en jaune, qualité passable
- en orange, qualité mauvaise
- en rouge, hors classe

*Error! Style not defined.***Figure 22 : Qualité vis-à-vis de l'altération matières organiques et oxydables 1992-1994**

- en bleu, qualité excellente
- en vert, qualité bonne
- en jaune, qualité passable
- en orange, qualité mauvaise
- en rouge, hors classe

*Error! Style not defined.***Figure 23 : Qualité vis-à-vis de l'altération nitrate 1992-1994**

- en bleu, qualité excellente
- en vert, qualité bonne
- en jaune, qualité passable
- en orange, qualité mauvaise
- en rouge, hors classe

*Error! Style not defined.***Figure 24 : Qualité vis-à-vis de l'altération proliférations végétales 1992-1994**

- en bleu : aucune
- en vert : proliférations possibles
- en jaune : prolifération modérées
- en orange : proliférations fortes
- en rouge : proliférations excessives (hypereutrophisation)

Dans la même collection

- N° 1 - *Structure et profil des emplois Environnement en France*
- N° 2 - *Les Français, la nature et l'environnement*
IFEN - CREDOC
- N° 3 - *Emplois et formations initiales en environnement*
- N° 4 - *Physical environmental accounting. Land use/land cover nutrients and the environment*
- N° 5 - *Comptes de l'occupation des terres*
- N° 6 - *Opinions sur l'environnement et appréciations de l'eau du robinet*
IFEN - CREDOC
- N° 7 - *EIDER version 1.0*
- N° 8 - *Statistiques nationales sur l'environnement 1996*
- N° 9 - *Les comptes de la dépense de protection de l'environnement -*
La gestion des déchets 1990-1993
- N° 10 - *Les comptes de la dépense de protection de l'environnement -*
La gestion des eaux usées 1990-1994
- N° 11 - *Agir pour la forêt dans les parcs naturels régionaux*
(résultats de l'enquête Fédération des parcs - IFEN, 1996)
IFEN - Parcs naturels régionaux de France
- N° 12 - *Les opinions des Français sur l'environnement et la forêt*
IFEN - CREDOC
- N° 13 - *Statistiques régionales et départementales sur l'environnement - Résultats 1995*
du programme EIDER, ensemble intégré des descripteurs de l'environnement régional
- n° 14 - *Fiscalité et environnement : les taxes et redevances liées à l'environnement,*
l'énergie et les transports
- n° 15 - *Les Français et l'environnement*
Rapport réalisé par le CREDOC à partir des questions posées par l'IFEN et EDF
dans l'enquête « Conditions de vie et Aspirations des Français » (Vague de début 1997)
- N° 16 - *L'environnement littoral et marin*
- N° 17 - *Test des indicateurs de développement durable des Nations unies - Rapport de la France*
- N° 18 - *Cartographie de l'aléa "Erosion des sols" en France*
IFEN - INRA - ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement
- N° 19 - *Les pesticides dans les eaux*
Ifen - RNDE
- N° 20 - *Statistiques régionales et départementales sur l'environnement - Edition 1998*
- N° 21 - *Les comptes de la dépense de protection de l'environnement -*
La dépense de protection de l'air 1990-1996
- N° 22 - *L'opinion publique sur l'environnement et l'aménagement du territoire en 1998*
- N° 23 - *Les comptes économiques de l'environnement - Séries 1990 – 1997 (Rapport présenté*
à la Commission des comptes et de l'économie de l'environnement du 23 juin 1999)
- N° 24 - *Les indicateurs de développement durable – Méthodes et perspectives*

