



Convention de partenariat ONEMA-Cemagref 2008

Domaine : Hydro-morphologie et altérations physiques des hydrosystèmes continentaux

Action : Descripteurs – cours d'eau

**Appui scientifique à la mise en œuvre
de la Directive Cadre européenne sur l'Eau**

**SYstème Relationnel d'Audit de
l'Hydromorphologie des Cours d'Eau**

ATLAS A LARGE ECHELLE V2.0

Auteurs :

**André CHANDESRIS, Nicolas MENGIN, Jean René MALAVOI,
Yves SOUCHON, Jean-Gabriel WASSON**

Cemagref
Département Gestion des Milieux Aquatiques
**Unité de Recherche Biologie des Écosystèmes
Aquatiques**
Laboratoire d'Hydroécologie Quantitative
Centre de Lyon
3bis Quai Chauveau
69336 LYON CEDEX 09

avril 2009

Tables des matières

I - AVERTISSEMENT – MODE D'EMPLOI.....	7
I.1 - Cadre conceptuel	7
I.2 - Méthodologie commune.....	8
I.3 - Les données utilisées.....	8
<i>I.3.1 - Méthodes d'acquisition de l'information</i>	<i>9</i>
<i>I.3.2 - Pressions s'exerçant au niveau du lit majeur.....</i>	<i>10</i>
<i>I.3.3 - Représentation de l'information.....</i>	<i>10</i>
II - CONTENU DE L'ATLAS	12
II.1 - Flux solides	12
<i>II.1.1 - Les risques d'érosion des sols vulnérables.....</i>	<i>12</i>
<i>II.1.2 - Barrages et blocage du transit sédimentaire.....</i>	<i>15</i>
<i>II.1.3 - Les gravières et extractions</i>	<i>19</i>
<i>II.1.4 - Conclusion – flux solides.....</i>	<i>22</i>
II.2 - Flux liquides	22
<i>II.2.1 - Imperméabilisation des sols.....</i>	<i>22</i>
<i>II.2.2 - Stockages et barrages</i>	<i>25</i>
<i>II.2.3 - Prélèvement d'eau aux bas débits : drainage, irrigation</i>	<i>32</i>
<i>II.2.4 - Conclusion - flux liquides.....</i>	<i>35</i>
II.3 - Morphologie du lit.....	35
<i>II.3.1 - Stabilisation : voies de communication dans le corridor.....</i>	<i>35</i>
<i>II.3.2 - Rectification et recalibrage : occupation des sols dans le corridor et à proximité immédiate du cours d'eau</i>	<i>39</i>
<i>II.3.3 - Ralentissement des écoulements : les seuils.....</i>	<i>45</i>
<i>II.3.4 - Conclusion - morphologie.....</i>	<i>45</i>
II.4 - Synthèse	45
III - BIBLIOGRAPHIE	48
ANNEXE 1 - LISTE DES VARIABLES DECRIVANT LES AMENAGEMENTS ET USAGES.....	49
ANNEXE 2 - OTEX.....	50
ANNEXE 3 - ESTIMATION DE LA LARGEUR MOYENNE DES COURS D'EAU	53
ANNEXE 4 - CLASSES DE COUVERTURES DES SOLS DE CORINE LAND COVER 2000 UTILISEES DANS LE RAPPORT	55
ANNEXE 5 - PROJET SIG UTILISABLE AVEC LES LOGICIELS ESRI	57

Tables des figures

Figure 1 - Cadre conceptuel de travail. SYRAH-CE.....	8
Figure 2 - distribution des fréquences par classes d'érosion diffuse.....	11
Figure 3 - Flux solide : Risque d'érosion des sols.....	14
Figure 4 - Cartes des hydro-écorégions de montagne (pentes médianes supérieures ou égales à 4%).....	15
Figure 5 - Flux solide : Volume de stockage amont	17
Figure 6 - Flux solide : Cumul des surfaces interceptées dans bassin versant amont	18
Figure 7 - Flux solide : Gravières en lit majeur (assimilé à 10 largeurs)	20
Figure 8 - Flux solide : Cours d'eau navigable	21
Figure 9 - Flux liquide : Surface imperméabilisée dans bassin versant amont	24
Figure 10 - Flux liquide : Influence des volumes de stockage dans le bassin versant amont	27
Figure 11 - Influence des volumes de stockage dans le bassin versant amont – usage irrigation.....	28
Figure 12 - Influence des volumes de stockage dans le bassin versant amont – usage hydroélectricité	29
Figure 13 - Influence des volumes de stockage dans le bassin versant amont – autres usages.....	30
Figure 14 - Flux liquides : surfaces irriguées.....	33
Figure 15 - Flux liquides : surfaces drainées.....	34
Figure 16 - Morphologie : voies de communication dans lit majeur (assimilé à 10 largeurs).....	37
Figure 17 - Morphologie – voies navigables dans lit majeur (assimilé à 10 largeurs).....	38
Figure 18 - Morphologie : occupation du sol type « artificiel » dans le lit majeur (assimilé à 10 largeurs)	41
Figure 19 - Morphologie : occupation du sol type « agricole » dans lit majeur (assimilé à 10 largeurs)	42
Figure 20 - Morphologie : occupation du sol type « artificiel » - petits cours d'eau.....	43
Figure 21 - Morphologie : occupation du sol type « agricole » - petits cours d'eau	44
 Figure 1 (Annexe 3) - Relation entre largeur moyenne de tronçons et rangs de Strahler ((Souchon <i>et al.</i> 2000) Régionalisation de l'habitat aquatique du bassin de la Loire)....	53
Figure 2 (Annexe 3) - Médianes de largeurs et rangs de Strahler obtenues par différentes sources.....	54
 Tableau 1 (Annexe 3): données largeurs/rang de Strahler extrapolées et valeur médiane des extrêmes.....	54

SYstème Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'Eau ATLAS A LARGE ECHELLE - Aménagements et usages

Auteurs : A. Chandesris⁽¹⁾, N. Mengin⁽¹⁾, J.R. Malavoi⁽²⁾, Y. Souchon⁽¹⁾, J.G. Wasson⁽¹⁾

⁽¹⁾ CEMAGREF Groupement de Lyon Unité de Recherche Biologie des Ecosystèmes Aquatiques <http://www.lyon.cemagref.fr/bea/>

⁽²⁾ Ingénieur conseil Géodynamique fluviale - hydraulique - hydrologie – hydroécologie
207 rue de l'Eglise - 01600 – Parcieux <http://www.dynafluv.com>

La mise en œuvre de la Directive Européenne Cadre sur l'Eau et le besoin récurrent de disposer d'un outil d'analyse du fonctionnement et de l'état physique des cours d'eau sont à l'origine de l'élaboration de méthodes permettant la caractérisation à large échelle du fonctionnement physique des milieux aquatiques dans un objectif de mise en œuvre d'actions pour l'atteinte du bon état écologique.

Le SYstème Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'Eau (SYRAH-CE) est construit à partir d'une approche « descendante », (« top-down »), appuyée sur l'organisation hiérarchique du fonctionnement des milieux aquatiques au sein de leur bassin versant.

La première étape de construction de cet audit consiste à réaliser un cadre à large échelle de description des aménagements et usages, soit susceptible d'être à l'origine des travaux et aménagements (pressions), qui seront analysés à une échelle plus fine, soit documentant au mieux ces pressions elles-mêmes, quand les informations précises ne sont pas disponibles.

L'Atlas est constitué d'un ensemble de couches géographiques regroupées en fonction des ensembles d'altérations physiques identifiées en première phase : altération de flux solides, altération de flux liquides, et altération de la morphologie, résultant, dans la majorité des cas, du déséquilibre entre ces deux derniers.

L'Atlas mobilise des données homogènes et disponibles à l'échelle du territoire national relatives à l'occupation des sols (Corine Land Cover), aux activités économiques (recensement Général de l'Agriculture, barrages et plans d'eau, infrastructures), ainsi qu'à certains phénomènes particuliers jugés déterminants (cartographie des risques d'érosion des sols par l'INRA, 1988).

Cet ensemble de cartes, utilisable à une échelle de bassins versants (ensemble de cours d'eau, au-delà de 100 km²), a pour objectif d'aider à l'appréciation des gradients de pression d'origine anthropique sur un grand territoire, et de mettre à disposition des acteurs un « filtre » de lecture des risques d'altération des cours d'eau.

Atlas Large Échelle

Le document présenté s'inscrit dans la continuité du projet « SYstème Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie » (SYRAH), commencé en 2006.

Il fait suite au document « Principes et Méthodes » (Chandesris et al. 2007), et constitue la première traduction opérationnelle du projet.

L'objectif de cet atlas est de proposer un ensemble d'indicateurs sur un support géographique permettant une évaluation du contexte des contraintes anthropiques imposées au fonctionnement physique naturel d'une masse d'eau déterminée.

La nature des bases de données géographiques de portée nationale utilisées pour construire ces indicateurs implique une restitution à un niveau de précision limité, mais permet de couvrir l'ensemble du champ des « pressions », traduit en « aménagements et usages », identifiés comme sources potentielles d'altérations physiques de fonctionnement des cours d'eau.

I - AVERTISSEMENT – MODE D'EMPLOI

I.1 - Cadre conceptuel

□ Les principes de l'audit

Les déterminants primaires à l'échelle régionale (relief, climat, géologie) formatent les variables de contrôle de l'hydromorphologie (régime hydro-sédimentaire, largeur et pente des fonds de vallée). De celles-ci, combinées à la structure de la végétation rivulaire et au bon fonctionnement des connectivités latérales et verticales du cours d'eau, dépendent les facteurs clés du fonctionnement écologique : habitat physique, « climat » aquatique, réseaux trophiques. La compréhension et le diagnostic des dysfonctionnements écologiques d'origine hydromorphologique doivent nécessairement intégrer cette organisation hiérarchique et multi-échelles du fonctionnement des hydrosystèmes.

L'approche « descendante », proposée dans le système d'audit SYRAH-CE, s'appuie sur une évaluation du « risque d'altération » à large échelle qui permet de renforcer l'effort d'analyse au niveau inférieur si des probabilités d'altérations importantes sont identifiées.

L'évaluation du fonctionnement hydromorphologique en fonction des contraintes exercées par les déterminants primaires le long des cours d'eau a été privilégiée par rapport à une approche plus classique de description d'« état » à la seule échelle de la station.

Les altérations des processus (flux liquides et flux solides notamment) et de structures (morphologie résultante) sont au centre de l'évaluation :

- elles sont en effet fortement liées à l'intensité des pressions anthropiques dans un contexte géomorphologique donné (échelle du tronçon de cours d'eau),
- elles sont clairement à l'origine de perturbations directes et indirectes des habitats aquatiques ainsi que de leur processus de régénération.

La base de travail des « Aménagements et Usages », reportée dans l'Atlas à large échelle, est déclinée en trois compartiments, correspondant aux ensembles d'altérations de fonctionnement physique identifiables sur les cours d'eau selon le schéma conceptuel proposé dans l'étape précédente (Figure 1)

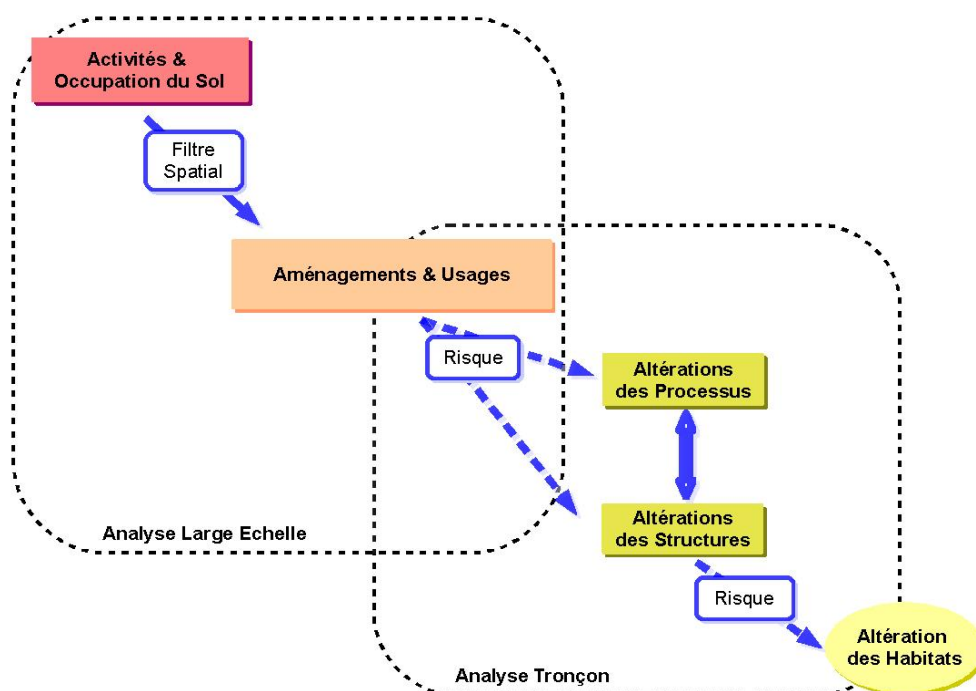


Figure 1 - Cadre conceptuel de travail. SYRAH-CE

I.2 - Méthodologie commune

L'ensemble des variables retenues pour la description des « Aménagements et usages », identifiées lors de la définition de la méthode, figure en Annexe 1 - .

Cet ensemble de cartes qui déclinent ces variables a pour ambition de donner les éléments permettant d'évaluer le contexte de pressions physiques exercées sur les cours d'eau.

Ces variables sont constituées par des champs numériques associés à des objets géographiques de type polyligne, sur le réseau hydrographique, et de type polygones, sur les zones hydrographiques.

Le niveau de représentation élémentaire des variables proposé est la zone hydrographique de la BDCarthage® version 3.0, niveau d'agrégation minimal d'une partie des données disponibles pour ce travail.

I.3 - Les données utilisées

Les couches géographiques de « support » des variables retenues sont :

- le thème « zonage hydrographique » de la BDCarthage® version 3.0 pour les représentations surfaciques ;
- la couche géographique « drain principal » développée par le Cemagref à partir du thème « hydrographie linéaire » de la BDCarthage® version 3.0 simplifiée et réordonnée dans le sens de l'écoulement naturel (Pella *et al.*

2006), soit en ne retenant que les axes principaux des zones hydrographiques (couche résultante « DPV1 » 88 000 km environ), soit en ayant rajouté à cette dernière les arcs de confluence de premier et deuxième niveau (couche « DPV3 » représentant 225 000 km environ) .

En complément de la BDCarthage®, les données géographiques administratives (communes et cantons) distribuées par l'Institut Géographique National (IGN) : GEOFLA®, ont été utilisées, notamment pour le report des informations issues du Recensement Général de l'Agriculture (RGA).

Des données d'environnement ont été acquises par le Cemagref :

- auprès de l'IGN : ROUTES500® ;
- auprès du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, service d'étude et de statistique agricole, notamment les résultats des RGA 1988, 2000.

D'autres données obtenues auprès d'instituts de recherche :

- aléa « érosion des sols » auprès de l'INRA, (Montier et al. 1998) ;
- reconstitution du module naturel inter-annuel auprès du Cemagref (unité Hydraulique-Hydrologie de Lyon, (Sauquet 2005)).

Des bases de données reconstituées, soit par nos propres moyens (barrages), soit par les Agences de l'Eau (seuils).

I.3.1 - Méthodes d'acquisition de l'information

I.3.1.1. - Pressions diffuses

Il s'agit de pressions s'exerçant sur l'ensemble des cours d'eau, et plus particulièrement des petits cours d'eau qui constituent la majorité du réseau (érosion des sols, prélèvements de type irrigation, occupation des sols).

Les données d'origine correspondent à des entités de type polygonal, soit administrative, soit technique (zonage hydrographique).

Le traitement de l'information consiste simplement à adapter (recalculer) les données d'origine, afin de les faire correspondre au cadre de restitution retenu : cantons ou zones hydrographiques de la BDCarthage®.

I.3.1.2. - Pressions du bassin versant amont

Sont considérées ici les pressions qui s'exercent de l'amont vers l'aval, en particulier, celles qui relèvent des perturbations de flux (solides ou liquides).

Souvent associées à des ouvrages structurants (barrages, retenues), les données d'origine sont transformées en variables et reportées sur le réseau aval en fonction de l'influence estimée (proportion de bassin versant intercepté, volume de stockage par rapport au volume écoulé ...).

Le traitement de l'information nécessite de combiner les données brutes de pressions, avec des variables modélisées le long du réseau : le bassin versant, le débit moyen inter-annuel,....

I.3.2 - Pressions s'exerçant au niveau du lit majeur

Concernant plus spécifiquement les grands cours d'eau, ces pressions sont localisées le long du réseau hydrographique, et concerneront, à cette échelle d'analyse, plutôt les éléments d'information liés à l'occupation du sol (plan d'eau, zone urbaine, agriculture, voies de communication).

Les données d'origine (surface de type d'occupation de sols ou linéaire de voies de communication) sont évaluées à l'intérieur d'une zone tampon (« buffer »).

Ces zones tampon sont construites pour les cours d'eau de rang de Strahler supérieur ou égal à 4, avec une largeur correspondant à 10 fois la largeur estimée du cours d'eau, évaluée en fonction du rang de Strahler (Annexe 3 -).

L'intersection de ces zones tampon avec la source de données de pression permet le calcul de l'indicateur recherché pour chacune d'elles.

I.3.3 - Représentation de l'information

Selon la nature des données utilisées et le type de cours d'eau concerné, le mode de représentation utilisera les supports suivants :

- pour les pressions affectant l'ensemble du réseau hydrographique de manière diffuse, la représentation de l'information est **surfacique** : utilisation du thème « zonage hydrographique » de la BDCarthage®, (érosion des sols) ou utilisation des données GEOFLA® de l'IGN, (surfaces irriguées, surfaces drainées) ;
- pour les pressions affectant les drains du réseau hydrographique dans une logique « amont – aval », la représentation est **linéaire**, bien que l'origine de la variable corresponde au bassin-versant: utilisation de la couche géographique « drain principal » (couche résultante « DPV1 »), (influence hydrologique ou sédimentaire des retenues),
- pour les pressions affectant les « axes majeurs » au niveau du lit majeur, la représentation est aussi **linéaire**, mais, dans ce cas, l'information correspond à des variables extraites dans une zone tampon, de part et d'autre du cours d'eau : utilisation du thème « hydrographie linéaire » de la BDCarthage® pour les cours d'eau de rangs de Strahler supérieur ou égal à 4, taille à partir de laquelle une vallée alluviale est systématiquement présente, (présence de gravières, voies de communication en lit majeur, pression urbaine, pression agricole).

Une légende est utilisée en cinq ou quatre classes construites dans la majorité des cas à partir de l'analyse de type « seuils naturels » du logiciel Arc View®.

Cette méthode de discrétisation (découpage d'une série de variables quantitatives en classes), dite méthode de Jenks, permet de minimiser la variance intra-classe des individus (les zones hydrographiques, ou les tronçons de cours d'eau) pour le paramètre considéré.

Cette procédure est adaptée à un objectif de zonage géographique, qui correspond aux buts de l'atlas proposé.

La répartition des individus reportée dans un diagramme de fréquence (Figure 2) permet de visualiser les implications de ce choix.

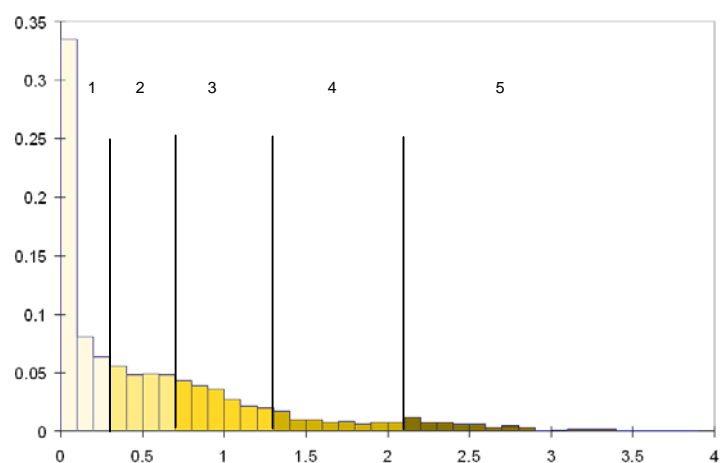


Figure 2 - distribution des fréquences par classes d'érosion diffuse

II - CONTENU DE L'ATLAS

Les cartes qui composent l'atlas sont regroupées dans les trois ensembles d'altérations de processus de fonctionnement physique : flux solides, flux liquides et morphologie.

Pour chacune d'elle, un descriptif sommaire de la couche géographique est proposé.

II.1 - Flux solides

Comme précisé dans le rapport « Principes et méthodes », les aménagements et usages décrits ici concernent, soit l'excès de sédiments fins (se traduisant par un colmatage du substrat), soit la réduction, ou la suppression de la charge alluviale grossière se traduisant par une incision du lit mineur, voire une disparition totale du substrat alluvial.

II.1.1 - Les risques d'érosion des sols vulnérables

❑ Les sources utilisées

Deux documents de portée nationale sont utilisés :

- la carte INRA d'aléas d'érosion des sols ;
- la carte des orientations technico-économiques des exploitations agricoles (OTEX) dominantes par communes, dont les données sont issues du dernier Recensement Général de l'Agriculture (RGA 2000).

Le premier décrit à large échelle le risque d'érosion, sur la base d'une combinaison d'informations : battance et érodabilité des sols, pente des terrains, occupation des sols, hauteur et intensité des précipitations, le résultat obtenu combine l'érosion d'origine naturelle avec celle d'origine anthropique.

Le croisement avec le deuxième document permet de mieux faire la part des altérations liées à l'usage agricole des sols, en particulier pour les cultures sollicitant les couches superficielles du sol (permanentes ou terres labourées).

❑ Traitement de l'information

Les données élémentaires disponibles sont :

- les zones hydrographiques de la BD Carthage® renseignées pour les aléas notés « faible », « moyen », « fort » ou « très fort » dans l'étude INRA ;
- les pourcentages d'OTEX dominants, disponibles à l'échelle des communes, la nomenclature détaillée est consultable en Annexe 2 - .

Ces données sources sont d'accès libre et facilement mobilisables.

Le croisement de ces informations est obtenu de la manière suivante :

- création d'une couche intermédiaire en découpant les zones hydrographiques par les polygones représentant les communes, puis calcul par zone hydrographique des proportions relatives des différents OTEX regroupés en 17 classes ;

- regroupements des OTEX en trois catégories différentes (cat_sol) :
 - sols nus en hiver très probables : 13,14,28,29,37,38,39,81,82 ;
 - risques de sols nus : 41, 43, 50, 60,72 ;
 - peu de risques d'érosion : 42, 71,90 ;

et calcul de la surface S_{zh}^i par zone hydrographique pour chacune de ces trois catégories

- construction d'un coefficient de pondération renforçant l'effet lié aux types de cultures :

Aléa d'érosion	Faible + Très faible	Moyen	Fort	Très fort
Sols nus en hiver	1	2	3	4
Risque de sols nus	0.5	1	2	3
Peu de risque	0	0	0	0

- affectation de ce coefficient de pondération («coeff_pond») à chaque ratio de surface par catégorie d'OTEX dans chaque zone hydrographique

$$\text{coeff_pond} \times S_{zh}^i;$$

- multiplication du résultat obtenu par le ratio de surface agricole utile (SAU), de manière à relativiser la pression agricole à l'échelle de la zone hydrographique (pour ne pas pénaliser les communes à faible surface relative de type agricole, même si l'aléa d'érosion existe, mais est d'origine naturelle).

Pour chaque zone hydrographique à laquelle correspond une valeur d'aléa d'érosion, on obtient une valeur :

$$\text{eros_sau}_{zh} = (\sum \text{coeff_pond} \times S_{zh}^i) / \text{SAU}$$

❑ **Résultats**

La couche résultante est une couche de polygones (zh_dissolv) construite à partir de la couche « zones hydrographiques » BDCarthage® regroupées par identifiant de zones hydrographiques, et renseignée par le champ « eros_sau » variant de 0 à 3.8.

❑ **Altérations hydromorphologiques probables**

- Colmatage des substrats alluviaux grossiers par des sédiments fins

Un examen rapide de cette carte permet d'identifier en première approche les régions où le phénomène de colmatage des substrats par excès de fines d'origine agricole présente une forte probabilité (Artois, Bretagne Ouest, Coteaux Aquitains, avant-pays Dauphinois...).

Il convient de remarquer une assez bonne concordance avec certaines limites d'hydro-écorégions.

Risques d'altération de flux solides : sédiments fins

Indicateur de risque d'érosion diffuse d'origine agricole

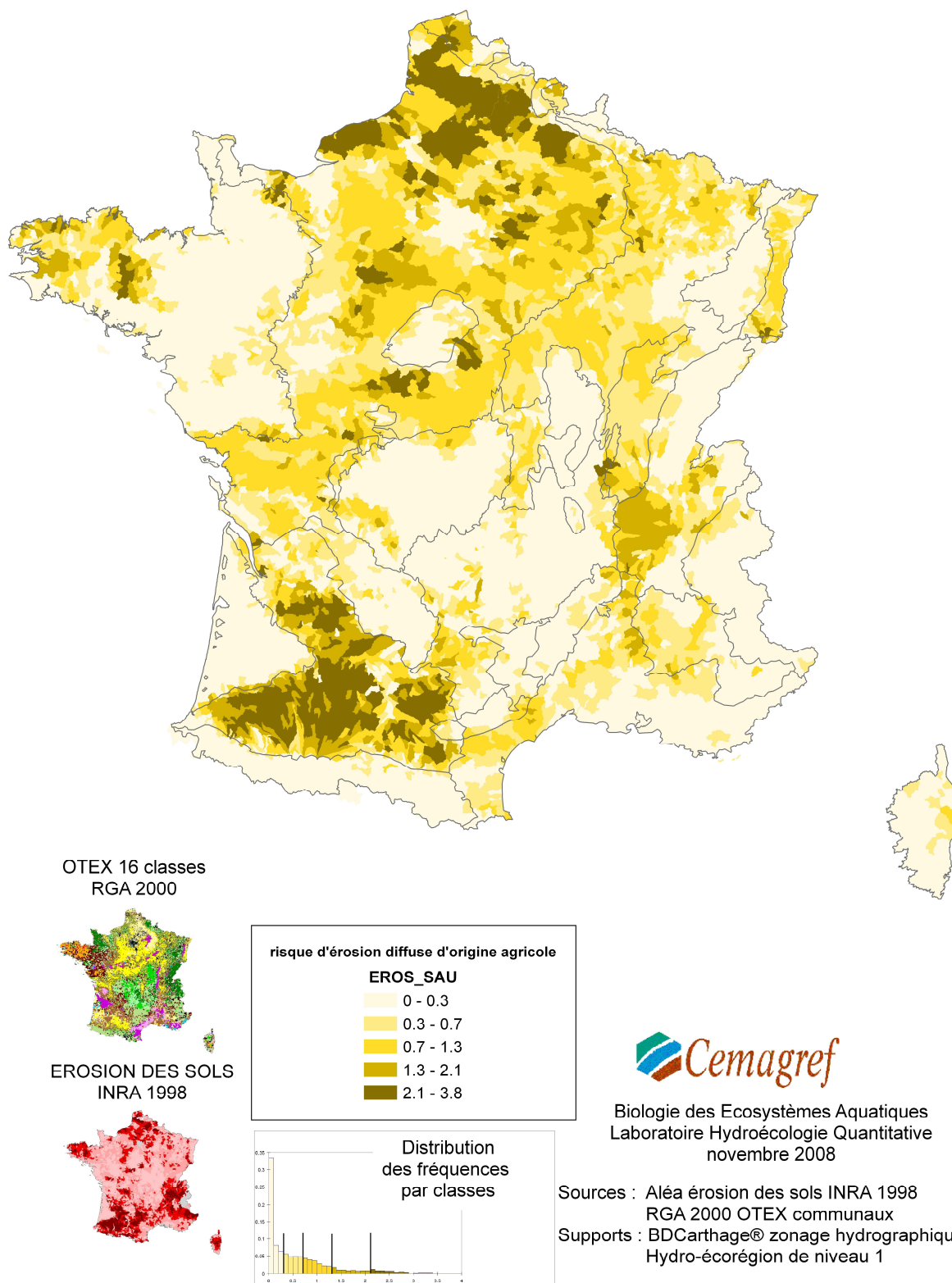


Figure 3 - Flux solide : Risque d'érosion des sols

II.1.2 - Barrages et blocage du transit sédimentaire

□ Les sources utilisées

Les données sources mobilisables sont essentiellement les bases de données d'« ouvrages » existantes (Agences de l'Eau, Bardigues, ...) (Chandesris et al., 2006), renseignées par des données quantitatives (hauteurs, volumes, surfaces, longueurs...).

□ Traitement de l'information

Les données élémentaires sont constituées par le fichier des barrages.

N'ont été prises en compte que les retenues situées dans des hydro-écorégions de niveau 2 dont la médiane des pentes des versants est supérieure à 4% (calcul réalisé à partir du modèle numérique de terrain au pas de 250 m IGN® (Wasson *et al.* 2002)). En effet, seules les zones probables de production significative de sédiments ont été ciblées, ainsi que les cours d'eau concernés par un transport solide significatif.

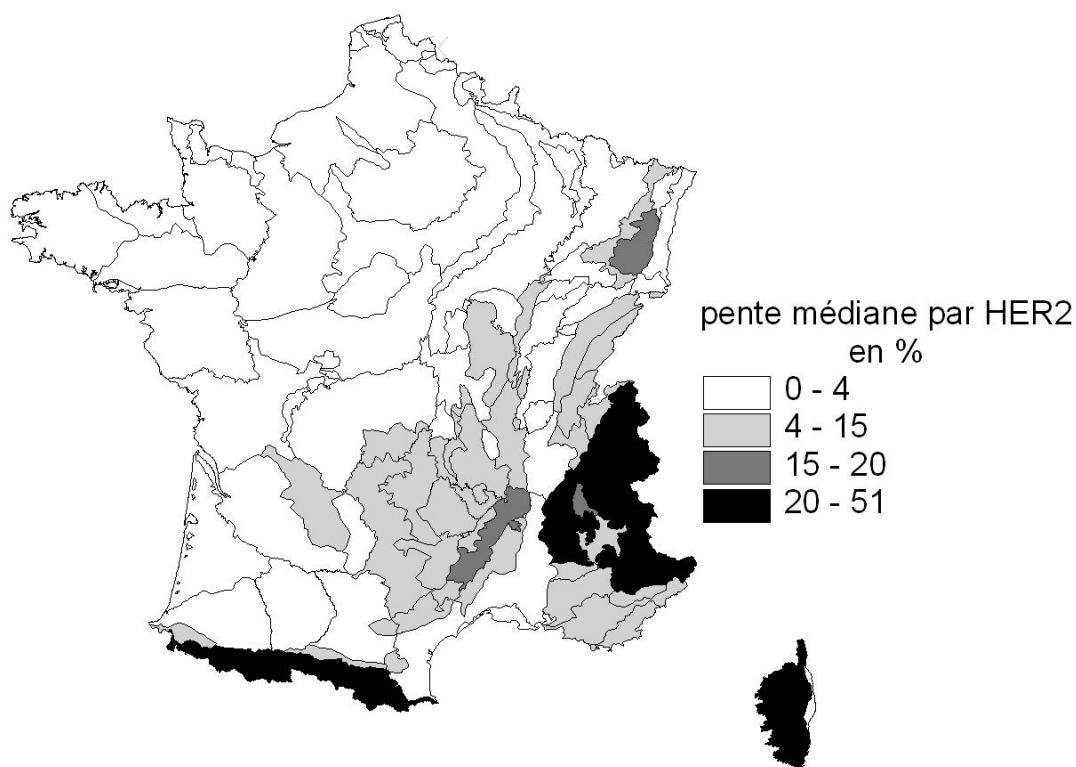


Figure 4 - Cartes des hydro-écorégions de montagne (pentes médianes supérieures ou égales à 4%)

Pour chaque zone hydrographique de ces HER2, ont été sélectionnées les retenues artificielles situées dans le bassin versant amont.

Deux approches sont proposées :

- évaluation du cumul de volume stocké (Mm^3) rapporté à la surface de bassin versant analysé, en considérant les retenues d'eau en tant que système de décantation;

- évaluation du cumul des surfaces des sous-bassins amont interceptés par les différents ouvrages rapporté à la surface totale du bassin versant étudié, on considère dans ce cas, l'ouvrage en tant que barrière physique du transit sédimentaire.

Ces deux indicateurs retournent une information complémentaire dans certains cas particuliers, et permettent d'obtenir une évaluation globale du risque d'altération des processus de transport solide, en particulier de la charge grossière (> 2 mm).

□ **Couche géographique**

La couche résultante est une couche de polygones construite à partir de la couche « drain principal », (DPV1):

- « ratio_vol » (rapport du volume cumulé stocké dans les HER2 de pente médiane > 4% sur la surface du bassin versant amont) variant de 0 à 11.3 (Mm³/km²) ;
- « ratio_bv » (rapport de la somme des surfaces de bassins versants situés à l'amont des retenues des HER2 de pente médiane > 4% sur la surface du bassin versant amont) variant de 0 à 39.1 (Km²/Km²) ; les valeurs supérieures à 1 correspondant à un emboîtement successif de bassins versants interceptés, la même charge sédimentaire sera bloquée plus d'une fois.

□ **Altérations hydromorphologiques probables**

- Incision généralisée du lit mineur en aval des ouvrages ;
- Réduction de la quantité de substrat alluvial grossier disponible (habitat majeur des biocénoses aquatiques) ;
- Disparition complète du substrat alluvial possible dans certains cas.

Risques d'altération de flux solides : charge grossière

Indicateur : volumes stockés dans le bassin versant amont

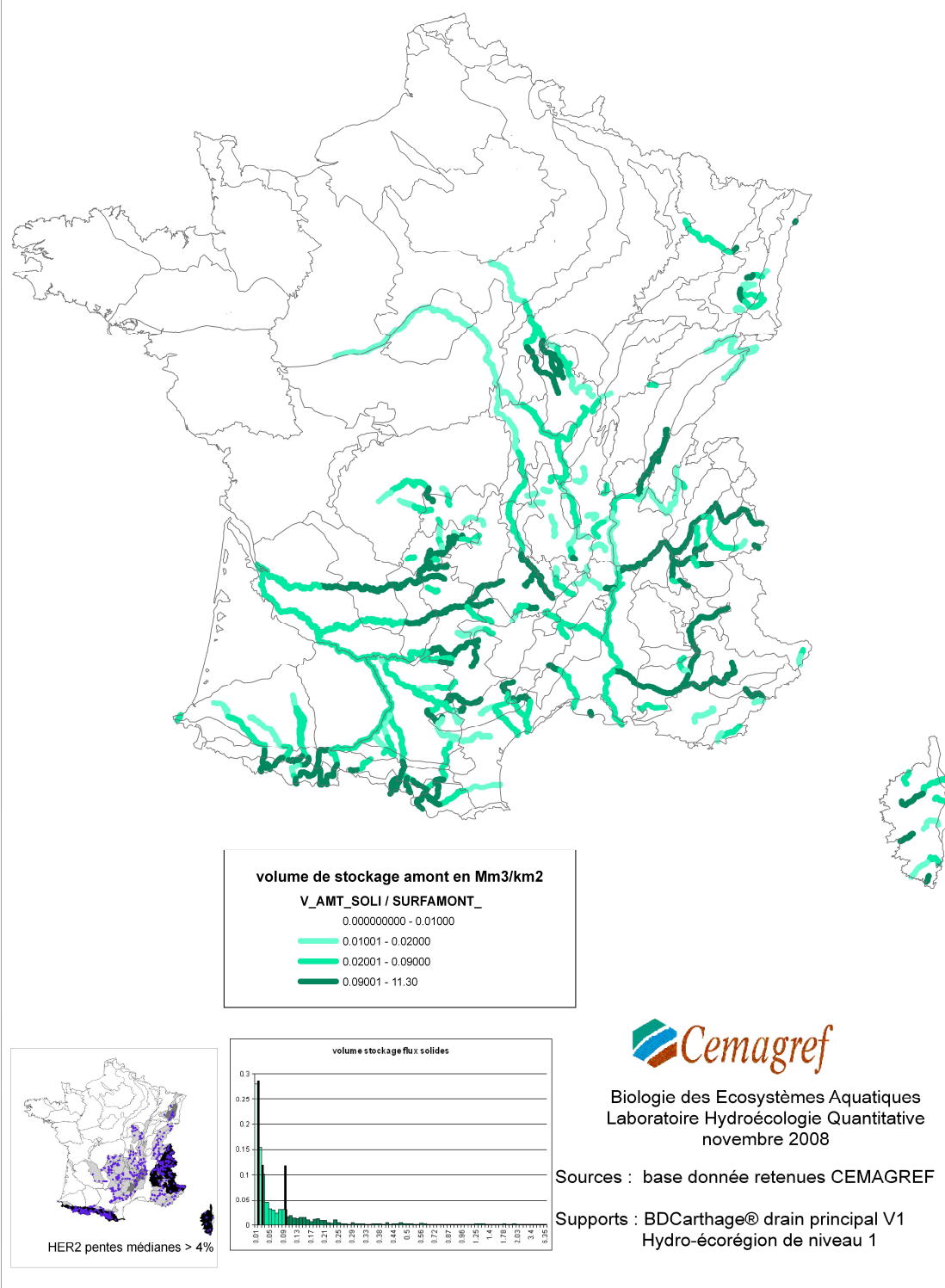


Figure 5 - Flux solide : Volume de stockage amont

Risques d'altération de flux solides : charge grossière

Indicateur : ratio de surfaces interceptées par des retenues dans le bassin versant amont

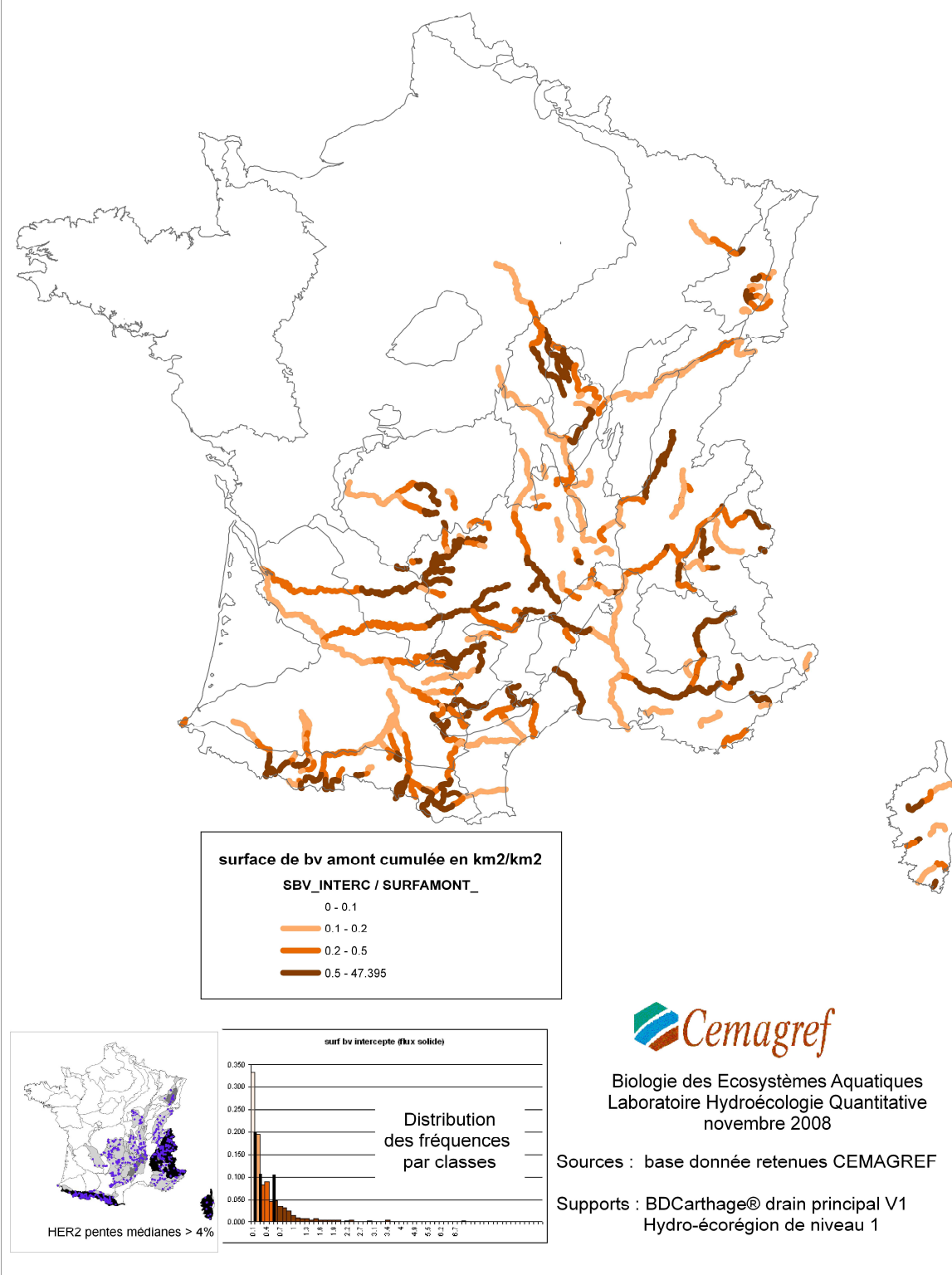


Figure 6 - Flux solide : Cumul des surfaces interceptées dans bassin versant amont

II.1.3 - Les gravières et extractions

❑ Les sources utilisées

La couche d'information que nous avons utilisée est celle, disponible, décrivant les plans d'eau sur l'ensemble du territoire avec le plus de précision : le thème « hydrographie zonale » de la BDCarthage®.

Il est complété avec les cours d'eau navigables soumis à des dragages constants pour le maintien d'un chenal navigable.

❑ Traitement de l'information

Les indicateurs retenus sont :

- Le ratio de surface cumulée de plans d'eau dans une zone tampon d'une largeur de 10 fois celle du cours d'eau (Malavoi *et al.* 1998) ;
- la nature navigable par gabarit des cours d'eau principaux.

Dans chaque polygone, correspondant par hypothèse au lit majeur, les plans d'eau du thème « hydrographie zonale » sont sélectionnés et le cumul de leur surface est calculé, ce qui permet de restituer à l'échelle de la zone hydrographique un ratio de surface en eau dans le lit majeur par rapport à la surface totale du lit majeur.

❑ Couche géographique

La couche résultante est une couche de polygones construite à partir de la couche « Strahler », sous-ensemble du réseau hydrographique de la BDCarthage® limitée aux rangs de Strahler supérieurs ou égaux à 4 et renseignée pour le champ :

- « ratio_grav » variant de 0 à 1 (ratio de superficie de plans d'eau sur la surface de la zone tampon).

Une légende est utilisée en quatre classes (limites : 0.001, 0.01, 0.1). La classe [0.01 – 0.1] correspond, pour les cas connus, à des altérations significatives du transport solide (Allier, Moselle, Loire). Dans ce cas particuliers, les classes de la légende ne résultent pas d'une analyse de la distribution.

La deuxième couche proposée, concernant les voies navigables, est, plus simplement, un sous-ensemble direct du réseau hydrographique de la BDCarthage®, renseigné sur le caractère de navigabilité.

❑ Altérations hydromorphologiques probables

- Incision généralisée du lit mineur en aval des gravières et zones d'extraction;
- Réduction de la quantité de substrat alluvial grossier disponible (habitat majeur des biocénoses aquatiques) ;
- Disparition complète dans certains cas du substrat alluvial.

L'examen sommaire de la carte permet de constater que la répartition de ce type de pression est lié à la fois aux zones de développement économique de la deuxième moitié du XX^{ème} siècle (Ile de France, Lorraine), mais aussi aux secteurs où la ressource est probablement limitée au lit majeur des cours d'eau (Loire, Allier, Adour).

Risques d'altération de flux solides : charge grossière

Indicateur : ratio de surface de plans d'eau dans le lit majeur (gravières)

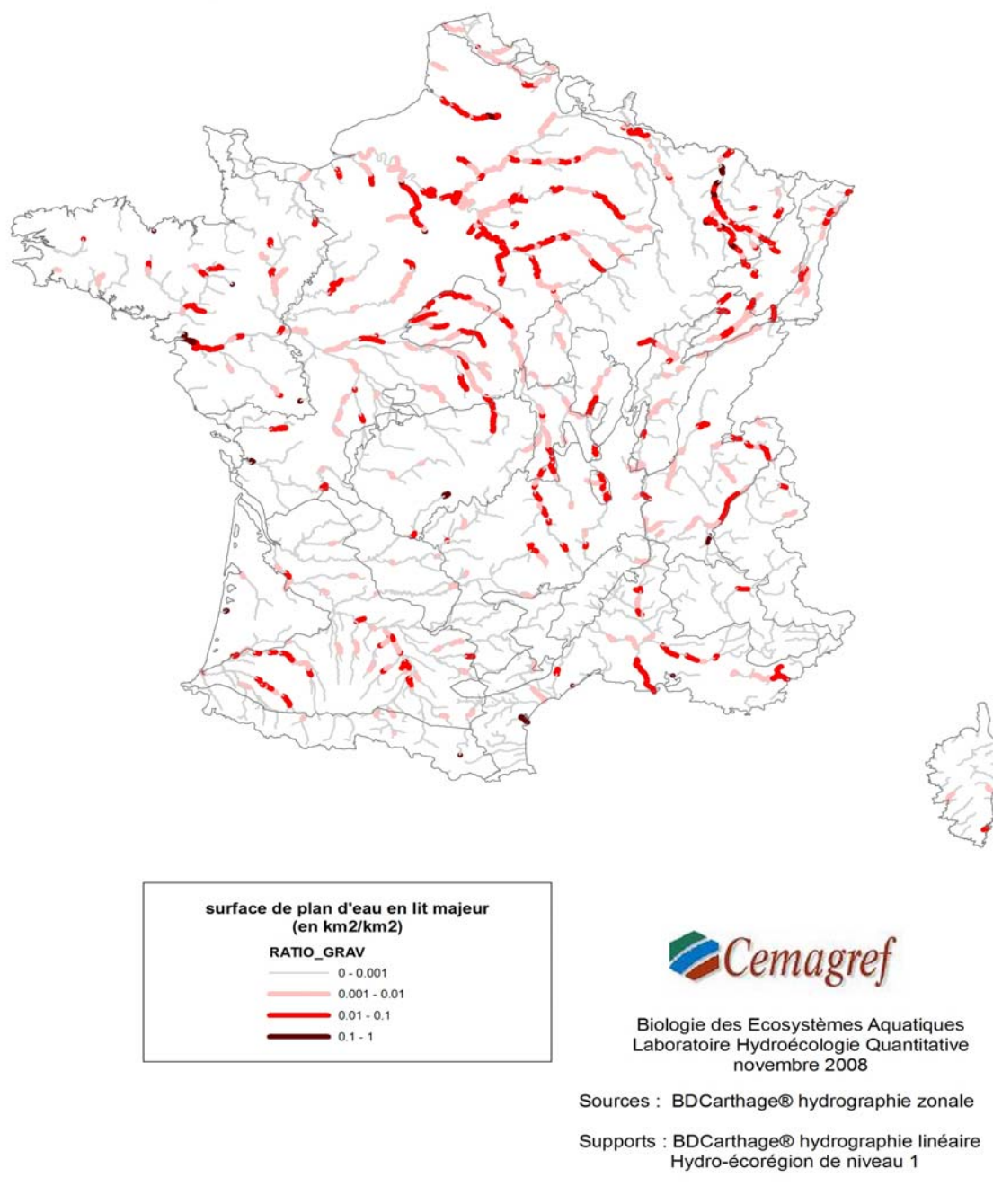


Figure 7 - Flux solide : Gravières en lit majeur (assimilé à 10 largeurs)

Risques d'altération de flux solides : charge grossière

Indicateur : cours d'eau navigable (dragages)

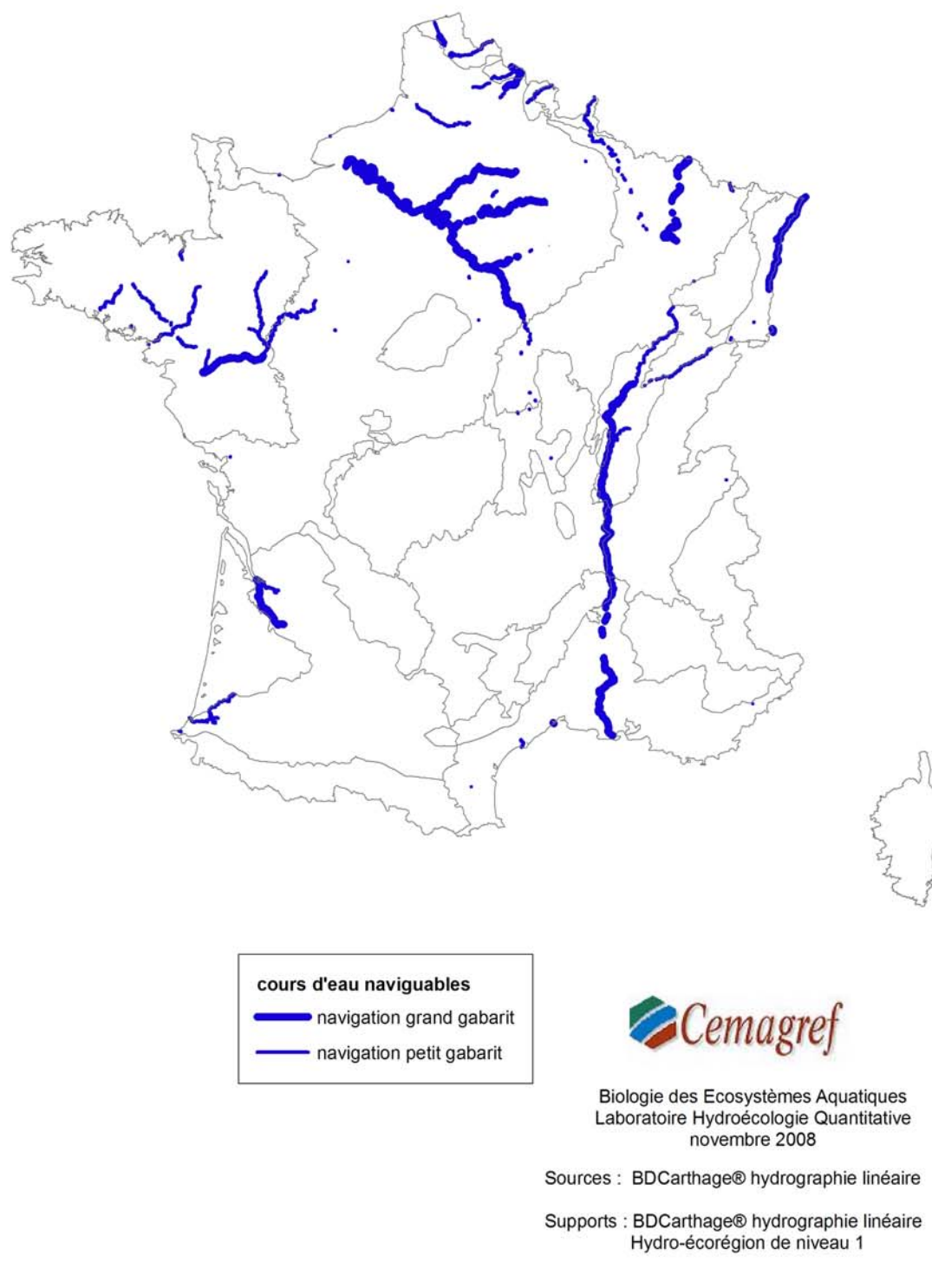


Figure 8 - Flux solide : Cours d'eau navigable

II.1.4 - Conclusion – flux solides

Cinq cartes sont proposées pour appréhender deux familles de pressions : excès de production de sédiments fins et extraction – interception de sédiments.

Ces cartes, informatives, ne concernent que les activités humaines et les usages susceptibles de générer des altérations physiques du fonctionnement des cours d'eau. Elles sont réalisées à une échelle grossière. De plus les données utilisées sont perfectibles et évolueront probablement (plan d'eau, bases « retenues »).

Elles permettent néanmoins de relativiser à grande échelle les pressions subies par les cours d'eau et d'identifier les secteurs où une attention particulière doit être portée pour, éventuellement, corriger l'effet de ces pressions.

L'analyse des données géographiques au niveau des tronçons permettra de mieux préciser les données relatives aux gravières, et cours d'eau altérés en terme de profil en travers, ces cartes ne constituent ici qu'une première étape informative destinée à améliorer la connaissance globale du contexte des bassins versants.

II.2 - Flux liquides

Les aménagements et usages ciblés dans ce chapitre influencent, soit les processus hydromorphologiques (modification des débits de crues fréquentes), soit la structure géomorphologique et hydrodynamique (régime hydrologique, débit dominant, variations de débits fréquentes, étiages).

II.2.1 - Imperméabilisation des sols

❑ Les sources utilisées

La source de données utilisée est Corine Land Cover 2000 (IFEN 2005).

Cette analyse se limite à l'interprétation de l'information globale au type « Territoires artificialisés » de la nomenclature de Corine Land Cover, incluant zones urbaines, péri-urbaines, et industrielles.

❑ Traitement de l'information

Le variable retenue est le ratio de surface de « Territoires artificialisés » (classe 1 de Corine Land Cover) par rapport au bassin versant amont de la zone hydrographique concernée.

Afin d'améliorer la représentation de cette pression, qui a une incidence importante sur les petits cours d'eau, deux variables ont été construites :

- le calcul du ratio de surface de territoires artificialisés dans le bassin versant amont de chaque zone hydrographique du territoire à l'exutoire de celle-ci, afin de les reporter sur les drains de ces zones hydrographiques (cours d'eau principaux) ;
- un ratio de surface de territoires artificialisés dans chaque zone hydrographique, reporté sur le « chevelu » constitué par le drain principal de niveau 3 (DPV3) permettant de représenter la pression locale à l'échelle de la zone hydrographique.

❑ Couche géographique

La carte résultante est en réalité constituée de deux couches géographiques se superposant avec des légendes de même type, afin de visualiser de manière plus précise la pression locale.

- La couche « drain principal » (drain des zones hydrographiques) est renseignée par le champ « urbain_tot » représentant le ratio de surface artificialisée à l'amont de la zone hydrographique ;
- La couche « DPV3 », (représentant des plus petits cours d'eau) est renseignée par un champ « ratio_artif », représentant la proportion de surface artificialisée à l'intérieur de la zone hydrographique, afin de représenter la pression s'exerçant à l'intérieur du périmètre de la zone hydrographique sur les petits cours d'eau.

Une légende en quatre classes (limites : 0.1, 0.2, 0.4) est proposée, assez proche de la classification de type « seuils naturels ».

□ **Altérations hydromorphologiques probables**

- Augmentation des débits de crue (effet sensible sur les crues fréquentes) ;
- Réduction du temps de concentration ;
- Incision du lit, aggravation de l'érosion.

On remarque que cet indicateur met en relief l'incidence des surfaces artificialisées sur les cours d'eau de dimension inférieure (chevelu correspondant à des zones hydrographiques), les « grands cours d'eau » concernés étant plutôt rares.

Ce type de pression est plus représenté dans la partie nord de la France avec une densité forte de cours d'eau concernés en Ile de France, Nord Pas de Calais, Vosges et Alsace. La région Rhône Alpes est aussi soumise à ce type de pression, sur ses agglomérations principales et dans les vallées alpines à forte concentration urbaine ; le littoral méditerranéen se distingue également.

Ailleurs, on retrouve la « signature » des agglomérations d'échelle régionale, voire départementale.

Risques d'altération de flux liquide : crues fréquentes

Indicateur : surfaces artificialisées

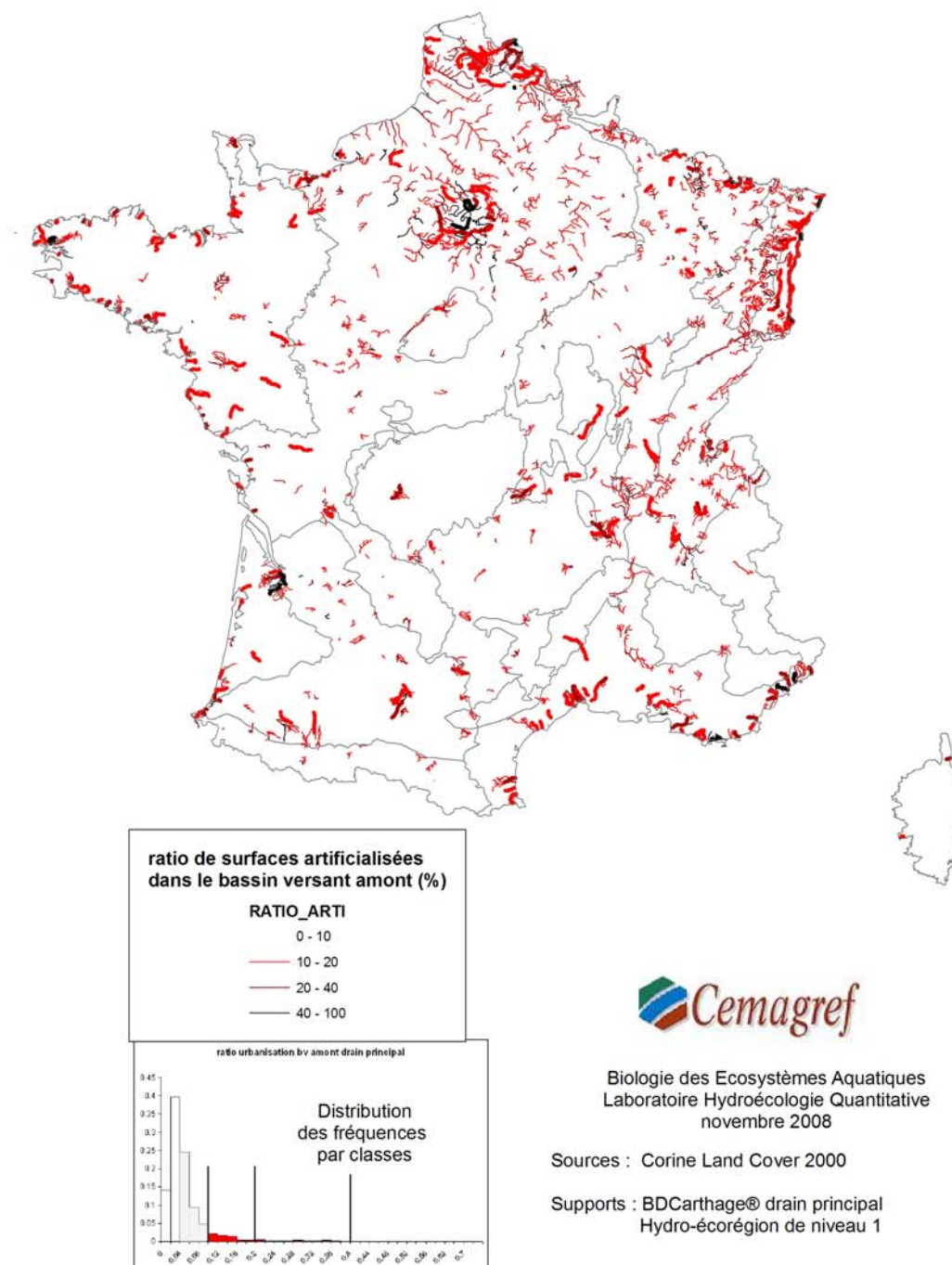


Figure 9 - Flux liquide : Surface imperméabilisée dans bassin versant amont

II.2.2 - Stockages et barrages

❑ Les sources utilisées

Les données utilisées sont la base de données « barrages » et la carte de modules inter-annuels naturels reconstitués (Sauquet 2005).

Les barrages sont pris en compte ici sous l'angle du stockage de l'eau, susceptible de générer une modification du fonctionnement hydrologique, de type différent selon les usages :

- prélèvement sans restitution pour l'irrigation ;
- stockage et décalage temporel de la restitution pour les grandes retenues à vocation hydroélectrique ;
- impacts de différentes natures plus complexes à décrire pour les autres usages.

❑ Traitement de l'information

La variable retenue est le ratio du volume de stockage (capacité utile) de la ou des retenues par rapport au volume annuel écoulé.

Pour chaque zone hydrographique, le volume cumulé de stockage connu à l'amont est rapporté au volume écoulé moyen annuel naturel reconstitué à l'exutoire de la zone hydrographique.

On obtient ainsi un rapport (ratio) de volume stocké par rapport à un volume annuel écoulé.

Les usages « irrigation », « hydroélectricité » et « autres » ont été évalués indépendamment.

Le report de cette information sur le « drain principal » (DPV1) au niveau de chaque zone hydrographique élémentaire de la BDCarthage® permet de préciser l'organisation spatiale de ce type d'aménagement, tout en le relativisant par rapport à la dimension des cours d'eau concernés.

Les valeurs obtenues pour différents exemples connus sont :

Aménagement	Capacité utile	Volume moyen annuel écoulé reconstitué	ratio
L'Isère en aval du barrage de Tignes	239 Mm ³	$6.52 \text{ m}^3/\text{s} * 86\,400 \text{ s} * 365 \text{ j}$ 205.6 Mm ³	1.16
La Marne à Chalon/Marne	386 Mm ³	2 500 Mm ³	0.15
La Durance à Manosque	1 310 Mm ³	4 558 Mm ³	0.28

□ **Couche géographique**

La couche résultante est constituée du drain principal des zones hydrographiques renseignée pour les ratios correspondant aux types de stockage suivants :

- l'ensemble des volumes stockés du bassin versant amont (« eclmt_tot »);
- les stockages destinés à l'irrigation (« eclmt_irr »);
- les stockages utilisés pour l'énergie électrique (« eclmt_hydr »);
- les autres usages et ceux non renseignés dans la base barrages (« eclmt_autr »).

Les grandeurs les plus élevées sont de l'ordre de 40 (ré-alimentation des réservoirs par des dérivations probables, ne pouvant être prises en compte par ce type d'analyse).

Les limites de classe retenues sont à 0.1, 0.3, 0.9, ordres de grandeur déjà utilisés lors d'études globales concernant les pressions hydro-électriques sur le bassin Adour Garonne (EVACE).

Ces cartes sont bien entendu perfectibles car elles sont construites sur une base de données qui n'est renseignée que très partiellement pour les petits ouvrages dont les effets cumulés peuvent être importants, notamment dans le cas de l'usage irrigation.

□ **Altérations hydromorphologiques probables**

- réduction des débits de crues fréquentes à l'aval des ouvrages ;
- réduction du débit à l'étiage dans le cas de l'irrigation ;
- modification du régime hydrologique (déplacement de l'hydrogramme annuel) ;
- modification du débit moyen immédiatement à l'aval (dans le cas de dérivations) ;
- variations fréquentes de débits (pour certains cas particuliers de fonctionnements hydroélectriques).

L'examen de ces cartes montre l'organisation spatiale très différente des pressions sur les flux liquides selon les usages :

- l'irrigation, dans le Sud Ouest est organisée à partir d'un réseau de réservoirs proportionnellement importants au regard de la taille des cours d'eau ;
- l'hydro-électricité concerne, en terme de stockage, les grands axes issus des massifs montagneux (Alpes, Pyrénées, Massif Central), avec une influence probable bien au delà de ces zones de montagne (Dordogne, Lot, Tarn, Durance, Isère, Rhône) ;
- les autres usages influencent moins nettement les cours d'eau : barrages réservoirs du bassin de la Seine, retenues d'eau potable du massif armoricain

Risques d'altération de flux liquide : stockage amont

Indicateur : volume stocké / volume écoulé
tous usages confondus

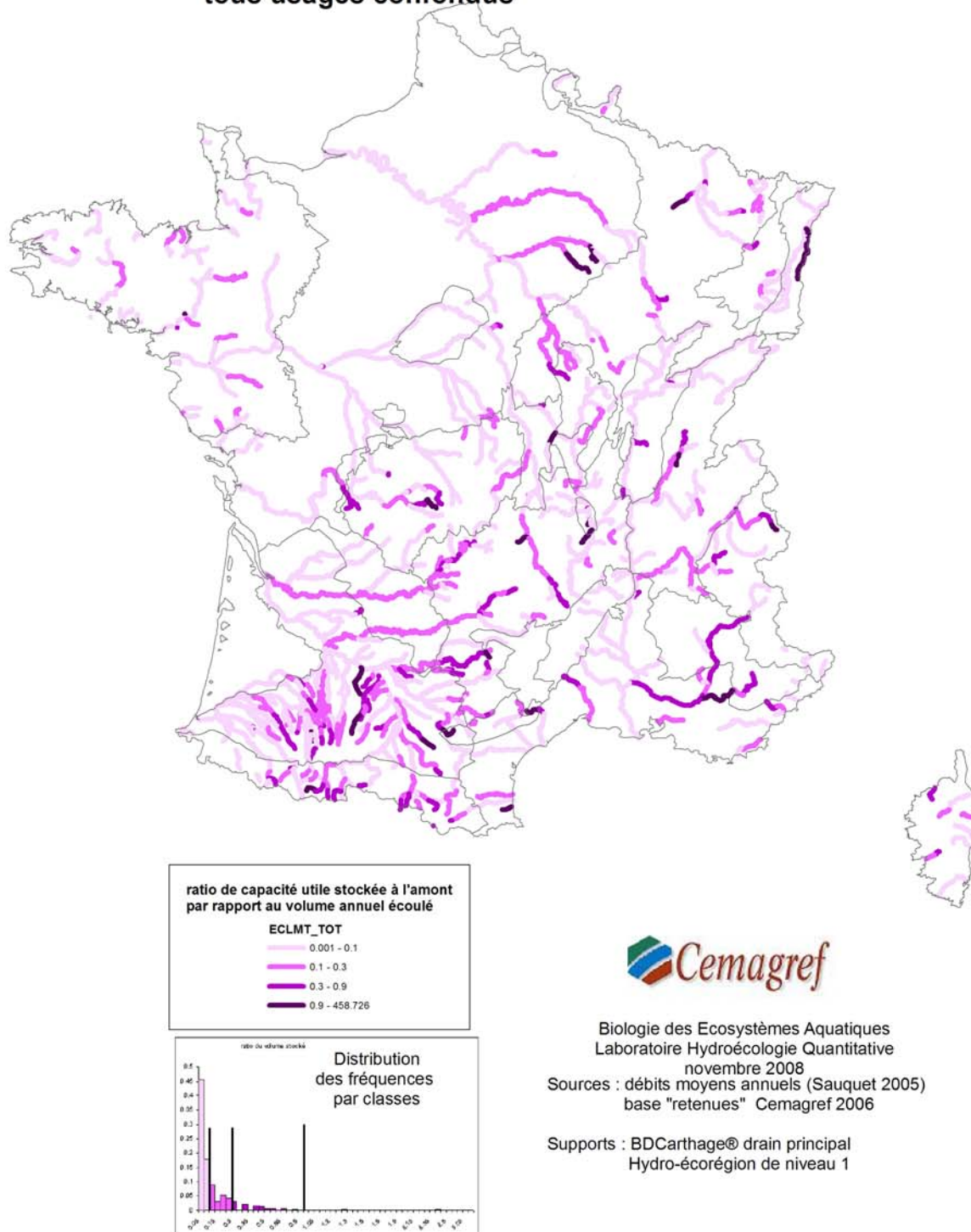
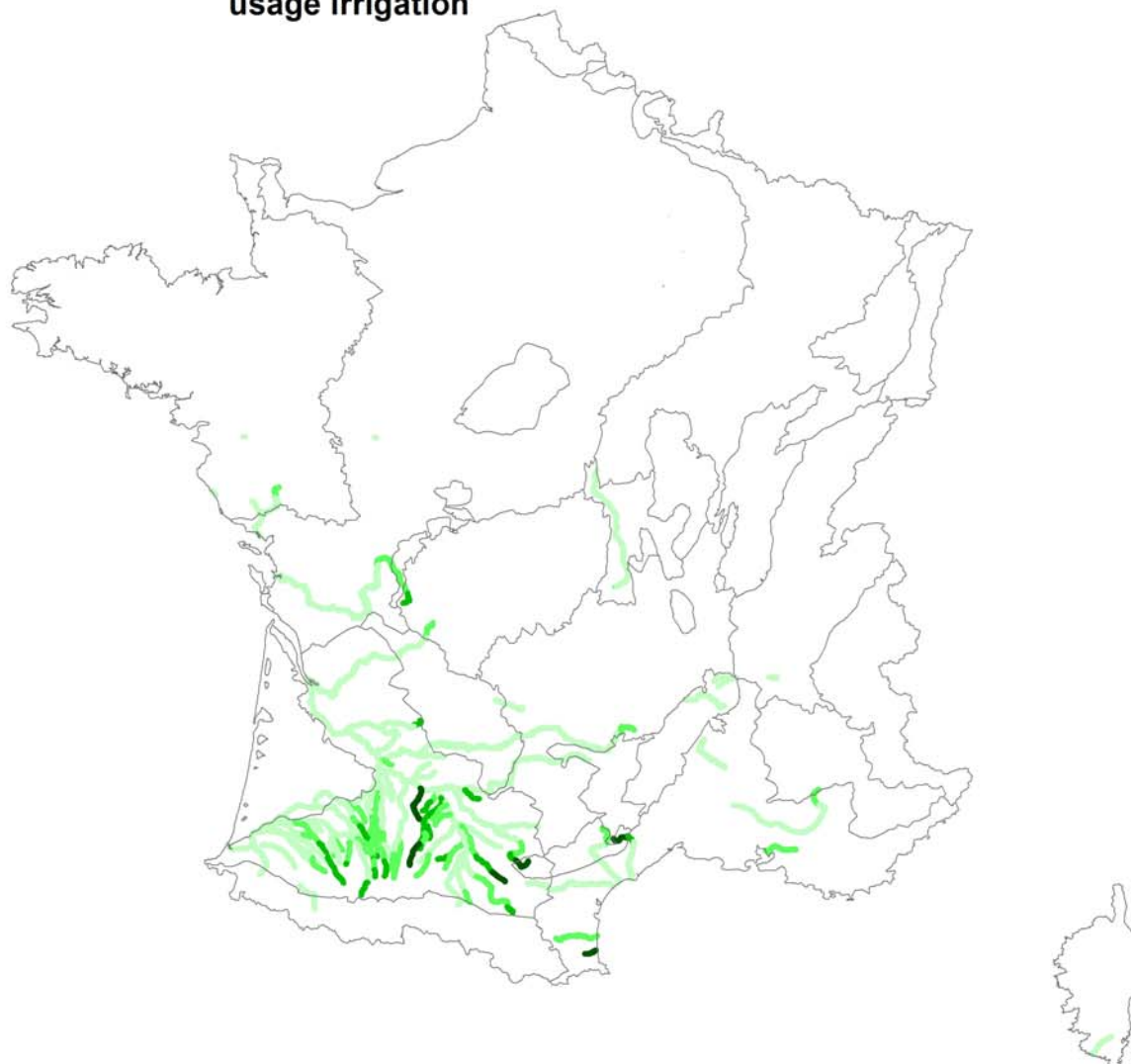


Figure 10 - Flux liquide : Influence des volumes de stockage dans le bassin versant amont

Risques d'altération de flux liquide : stockage amont

Indicateur : volume stocké / volume écoulé
usage irrigation



ratio de capacité utile stockée à l'amont
par rapport au volume annuel écoulé

stockage amont irrigation

ECLMT_IRRI

0.001 - 0.1

0.1 - 0.3

0.3 - 0.9

0.9 - 458



Biologie des Ecosystèmes Aquatiques
Laboratoire Hydroécologie Quantitative
novembre 2008

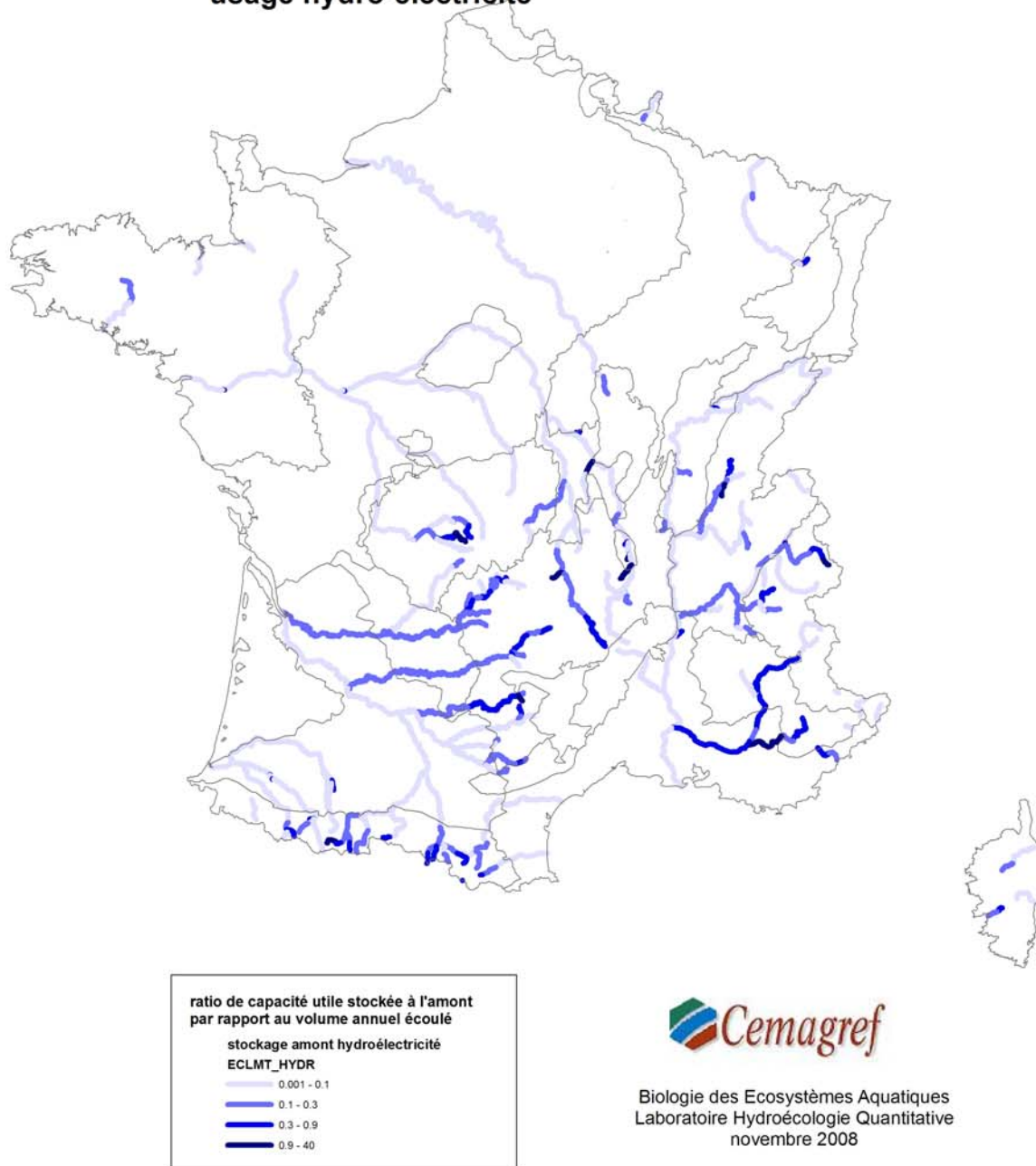
Sources : débits moyens annuels (Sauquet 2005)
base "retenues" Cemagref 2006

Supports : BDCarthage® drain principal
Hydro-écorégion de niveau 1

Figure 11 - Influence des volumes de stockage dans le bassin versant
amont – usage irrigation

Risques d'altération de flux liquide : stockage amont

Indicateur : volume stocké / volume écoulé
usage hydro-électricité



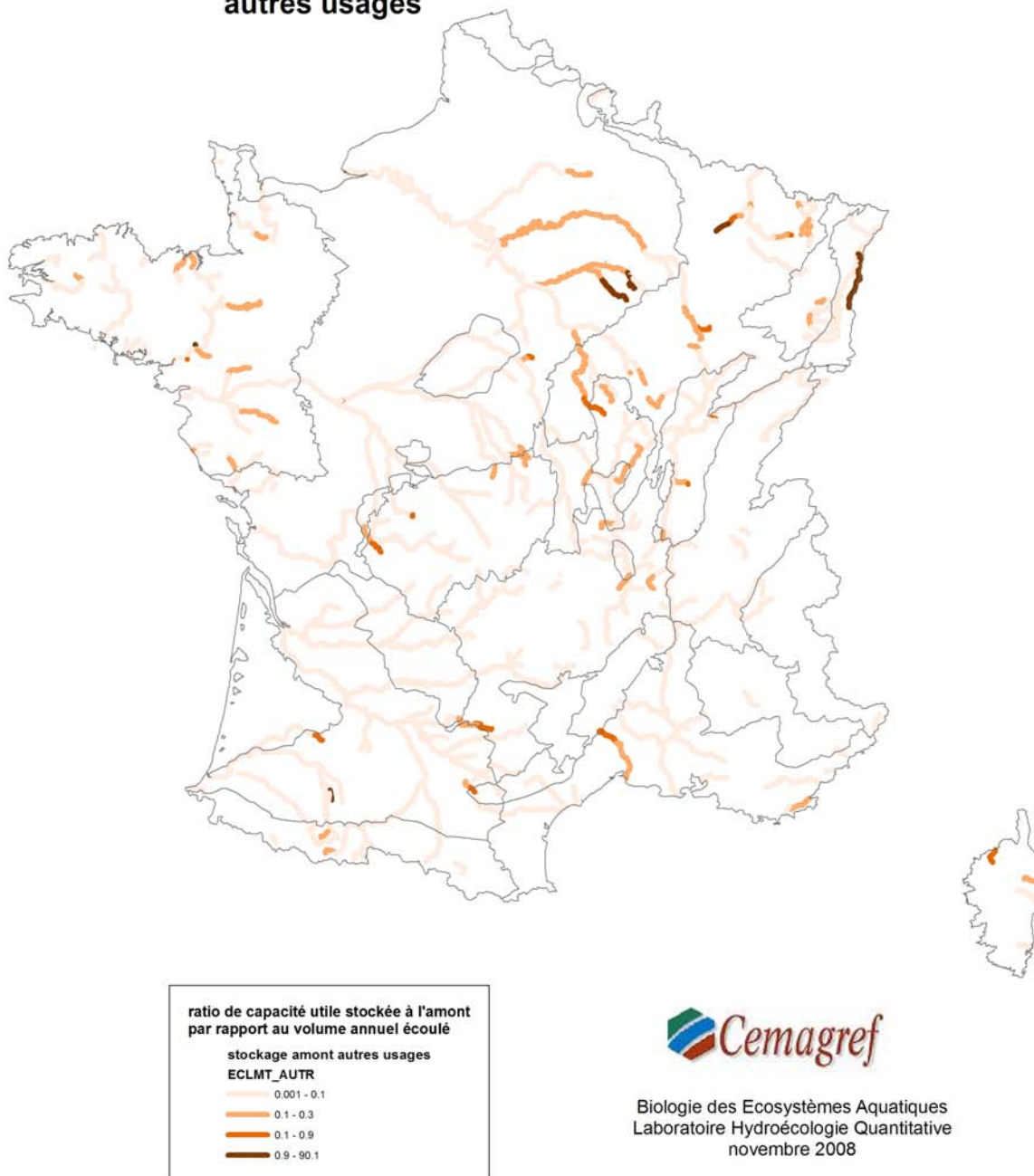
Sources : débits moyens annuels (Sauquet 2005)
base "retenues" Cemagref 2006

Supports : BDCarthage® drain principal
Hydro-écorégion de niveau 1

Figure 12 - Influence des volumes de stockage dans le bassin versant
amont – usage hydroélectricité

Risques d'altération de flux liquide : stockage amont

Indicateur : volume stocké / volume écoulé
autres usages



Sources : débits moyens annuels (Sauquet 2005)
base "retenues" Cemagref 2006

Supports : BDCarthage® drain principal
Hydro-écorégion de niveau 1

Figure 13 - Influence des volumes de stockage dans le bassin versant
amont – autres usages

II.2.3 - Prélèvement d'eau aux bas débits : drainage, irrigation

❑ Les sources utilisées

Les données proviennent du Recensement Général de l'Agriculture (RGA) de 1988, seules données de ce type homogènes et disponibles à l'échelle cantonale ; les données du RGA 2000 ne couvrent pas la totalité du territoire, la comparaison des résultats est précisée en annexe du rapport « Principes et méthodes ».

❑ Traitement de l'information

L'information du RGA est disponible selon les découpages administratifs, ici le canton.

Le ratio de surface irriguée ou drainée par rapport à la surface totale est proposé comme variable de travail.

❑ Couche géographique

Les deux variables sont reportées sur la couche IGN GEOFLA®.

NB : Il convient de prendre en compte, pour l'information « irrigation », le fait que la ressource sollicitée peut correspondre à des nappes, non directement connectées aux cours d'eau (Tables Calcaires, Alsace), ou à une ressource abondante constituée par de grand cours d'eau à débits élevés en été (vallée du Rhône, Durance).

Les limites de classes retenues sont à 0.05, 0.1, 0.2, 0.4 ; elles sont issues du résultat de l'analyse des fréquences de répartition.

❑ Altérations hydromorphologiques probables

➤ Réduction des débits, notamment à l'étiage :

- modification pénalisante des conditions hydrodynamiques, donc des habitats aquatiques (réduction des profondeurs, réduction de la quantité d'habitat disponible et donc de la capacité d'accueil) ;
- aggravation du réchauffement estival et augmentation de la concentration en polluants divers.

La carte d'irrigation montre des secteurs de pression bien distincts correspondant à des sollicitations de ressources de type différents, et, probablement des usages différents.

Il est possible d'identifier le Grand Sud Ouest, déjà ciblé par l'analyse des volumes stockés, mais s'ajoute à cette zone un secteur Ouest (Poitou-Charentes) dont la ressource est mixte entre cours d'eau et eaux souterraines (avec des interactions possibles), la Beauce sollicitant exclusivement les nappes, la vallée du Rhône et de la Durance, dont la ressource des fleuves alpins permet le développement de cet usage.

La carte du drainage met en relief les secteurs sédimentaires dominés par les sols argileux, croisés avec les plaines à forte activité agricole, auquel s'ajoute le Massif Armoricain.

L'ancienneté de ces données milite pour une révision rapide de ces cartes, dans la mesure où le RGA 2010, en cours de préparation, le permettra (la restitution d'une information homogène et comparable à l'ensemble du territoire est indispensable).

Risques d'altération de flux liquide : irrigation

Indicateur : superficie irriguée /superficie totale

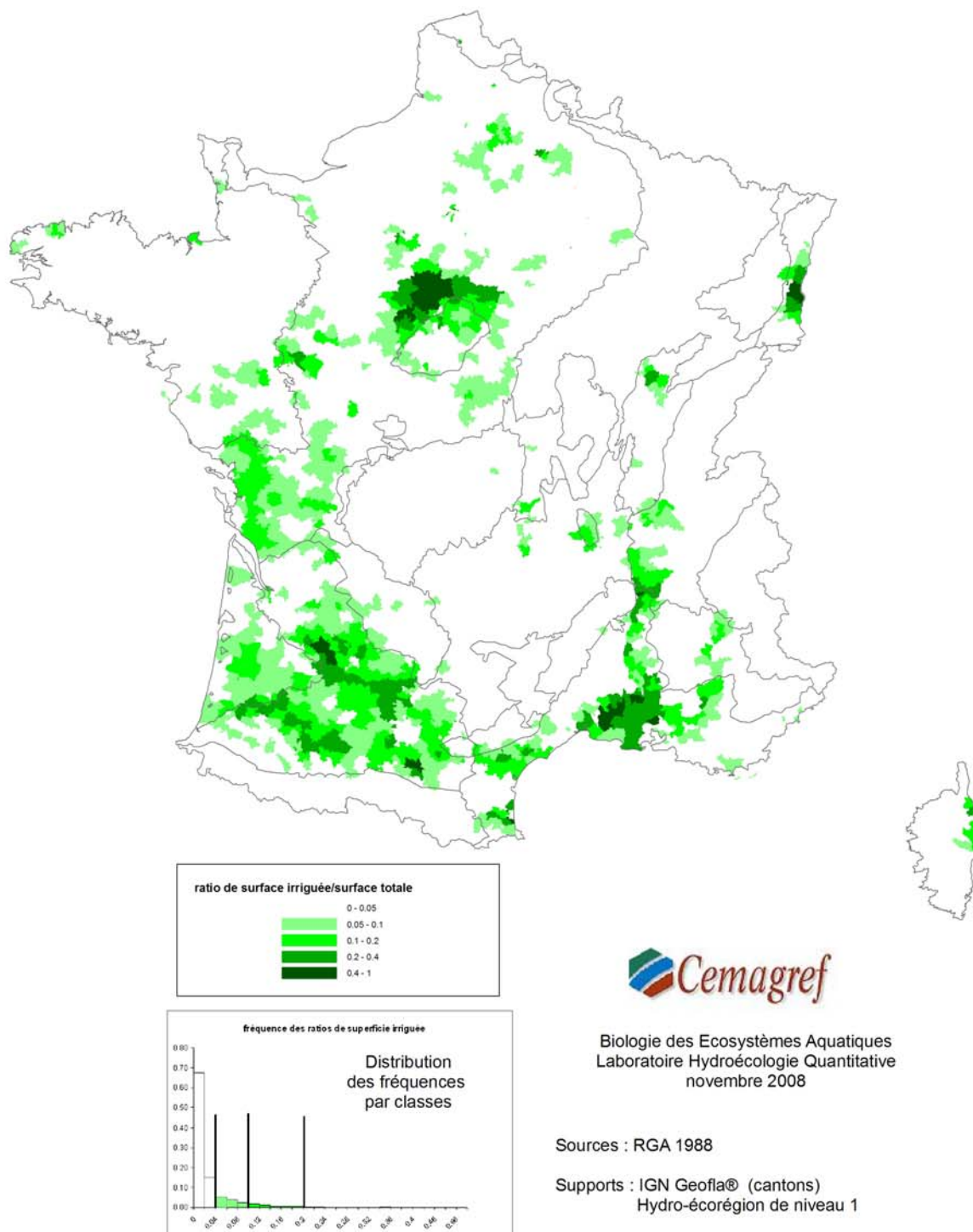


Figure 14 - Flux liquides : surfaces irriguées

Risques d'altération de flux liquide : drainage

Indicateur : superficie drainée / superficie totale

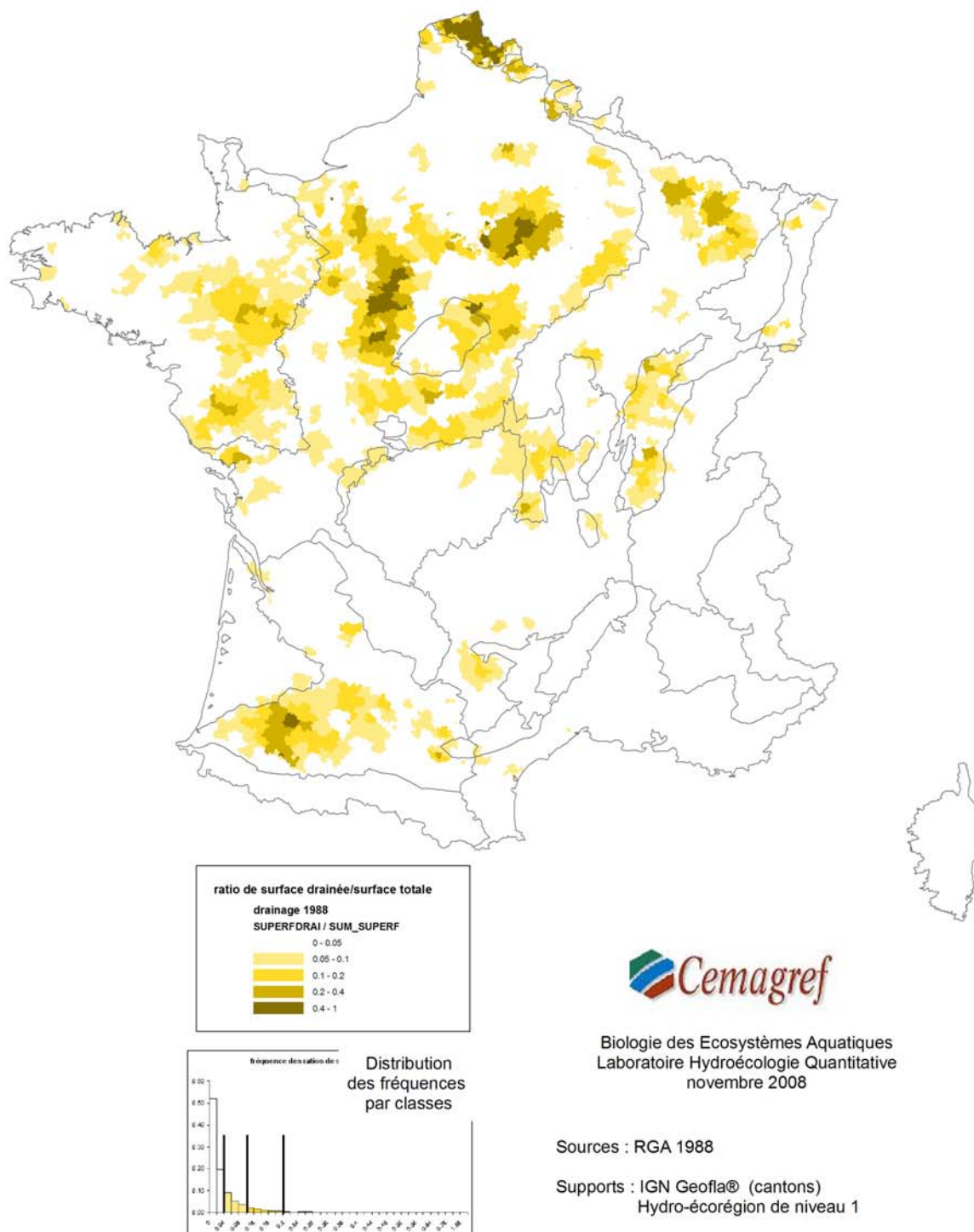


Figure 15 - Flux liquides : surfaces drainées

II.2.4 - Conclusion - flux liquides

Trois familles de pressions sont proposées : imperméabilisation des sols, stockages influençant l'hydrologie selon les usages, et prélèvement en période d'étiage, plus spécifiquement agricole.

Les cartes obtenues sont encore très perfectibles, même en conservant un objectif de cartographie globale.

En effet, certaines données méritent un complément et une validation comme la base « retenue » ; d'autres demandent des mises à jour régulières selon les fluctuations des usages économiques (irrigation et drainage).

On peut néanmoins constater que la lecture des ordres de grandeur de ces pressions ainsi que l'appréciation de leur répartition spatiale est plus aisée avec les cartes proposées.

II.3 - Morphologie du lit

S'agissant de pressions agissant sur la morphologie locale du cours d'eau, il faut noter que l'approche proposée est très « macroscopique » par rapport aux observations que l'on pourrait effectuer à des échelles plus précises.

Elle constitue néanmoins une première étape d'évaluation du risque d'altération de cours d'eau en proposant notamment une identification des secteurs où le risque d'altération est fort, et une proposition de regard relatif sur des ensembles géographiques élargis.

Les informations utilisées ici concernent essentiellement l'occupation des sols (Corine Land Cover 2000), les voies de communication, et, quand les bases de données sont disponibles, les ouvrages transversaux sur cours d'eau (seuils).

Les variables d'usages et d'occupation de sols sont évaluées au niveau du lit majeur (estimé à 10 fois la largeur moyenne).

II.3.1 - Stabilisation : voies de communication dans le corridor

□ Les sources utilisées

Les données utilisées sont celles existant dans le produit ROUTE500® dérivé de la BDCarto® (Institut Géographique National).

□ Traitement de l'information

Les tronçons de routes et de voies ferrées de la base ROUTES500® IGN sont sélectionnés en réalisant une intersection avec les zones tampons (« buffer ») correspondant à 10 fois la largeur.

Les longueurs de tronçons sélectionnés sont cumulées pour chaque polygone du « buffer » correspondant à une zone hydrographique.

□ Couche géographique

Le ratio de longueur de voies de communication sur la longueur de l'arc de cours d'eau est reporté sur la couche dérivée du thème « hydrographie linéaire » de BDCarthage® pour les cours d'eau de rangs supérieur à 4.

En complément, une carte des voies d'eau navigables présentes dans le corridor est proposée, s'agissant d'équipements lourds à impact fort sur les cours d'eau (cette carte inclut les canaux artificiels).

Les limites de classes sont appuyées sur le principe suivant :

- 10% de longueur, pression très faible ;
- 50% de longueur, pression faible ;
- de 50 à 200% de longueur, pression forte ;
- au dessus de 200 %, pression très forte (une voie continue de part et d'autre du cours d'eau).

□ **Altérations hydromorphologiques probables**

- franchissements transversaux (ponts, digues, parfois associés à des seuils) ;
- ouvrages de stabilisation latéraux et de protection contre les inondations ;
- dans certains cas, rectification du tracé naturel des cours d'eau.

La carte résultante est moins structurée géographiquement que les informations analysées jusqu'à présent, on peut tout de même percevoir l'importance des vallées des très grands cours d'eau comme axe majeur de communication.

Risques d'altération de la morphologie: voies de communication **Indicateur : longueur de voies dans le lit majeur**

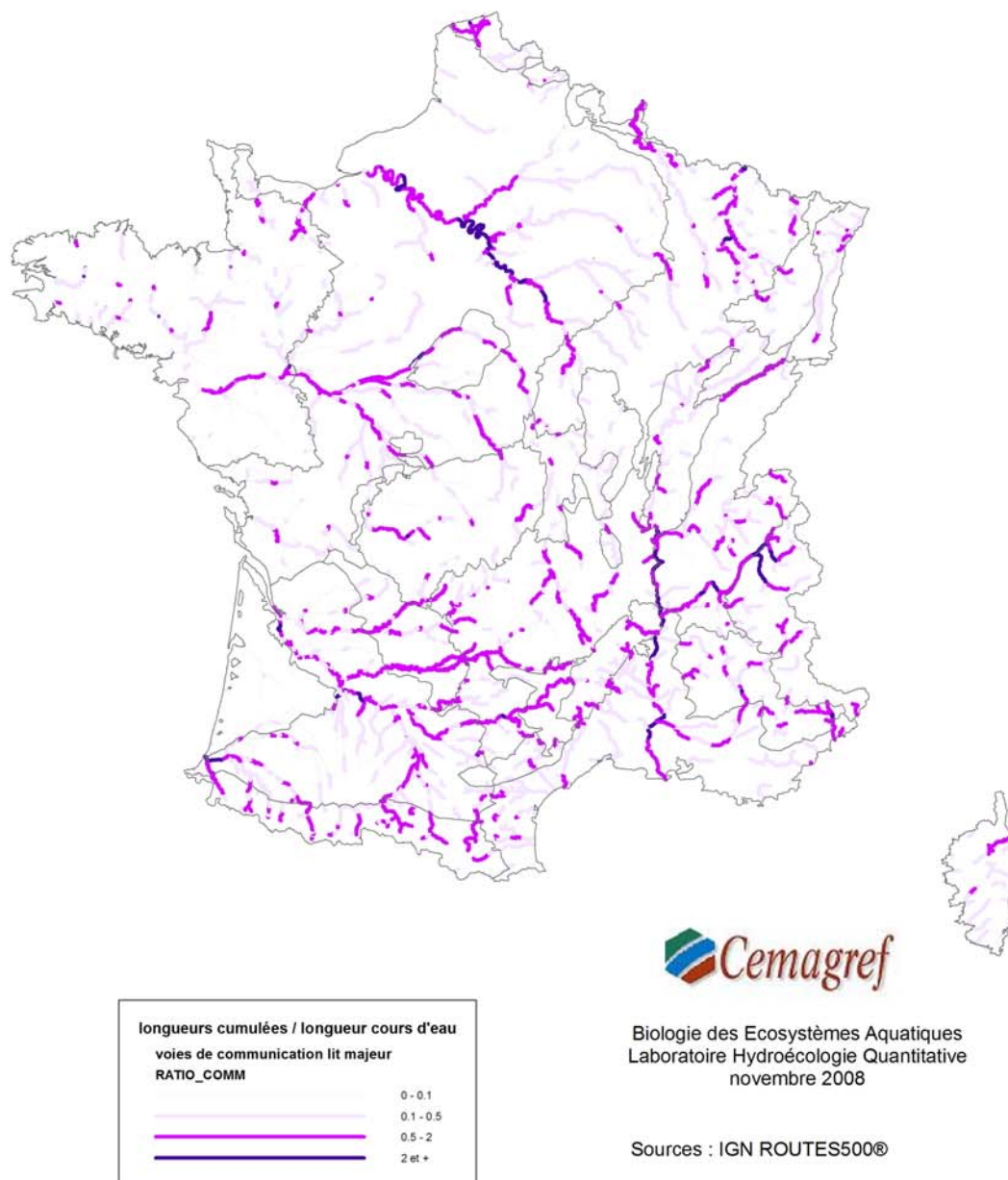


Figure 16 - Morphologie : voies de communication dans lit majeur (assimilé à 10 largeurs)

**Risques d'altération de la morphologie:
voies de communication**
Indicateur : présence de voies navigables en lit majeur

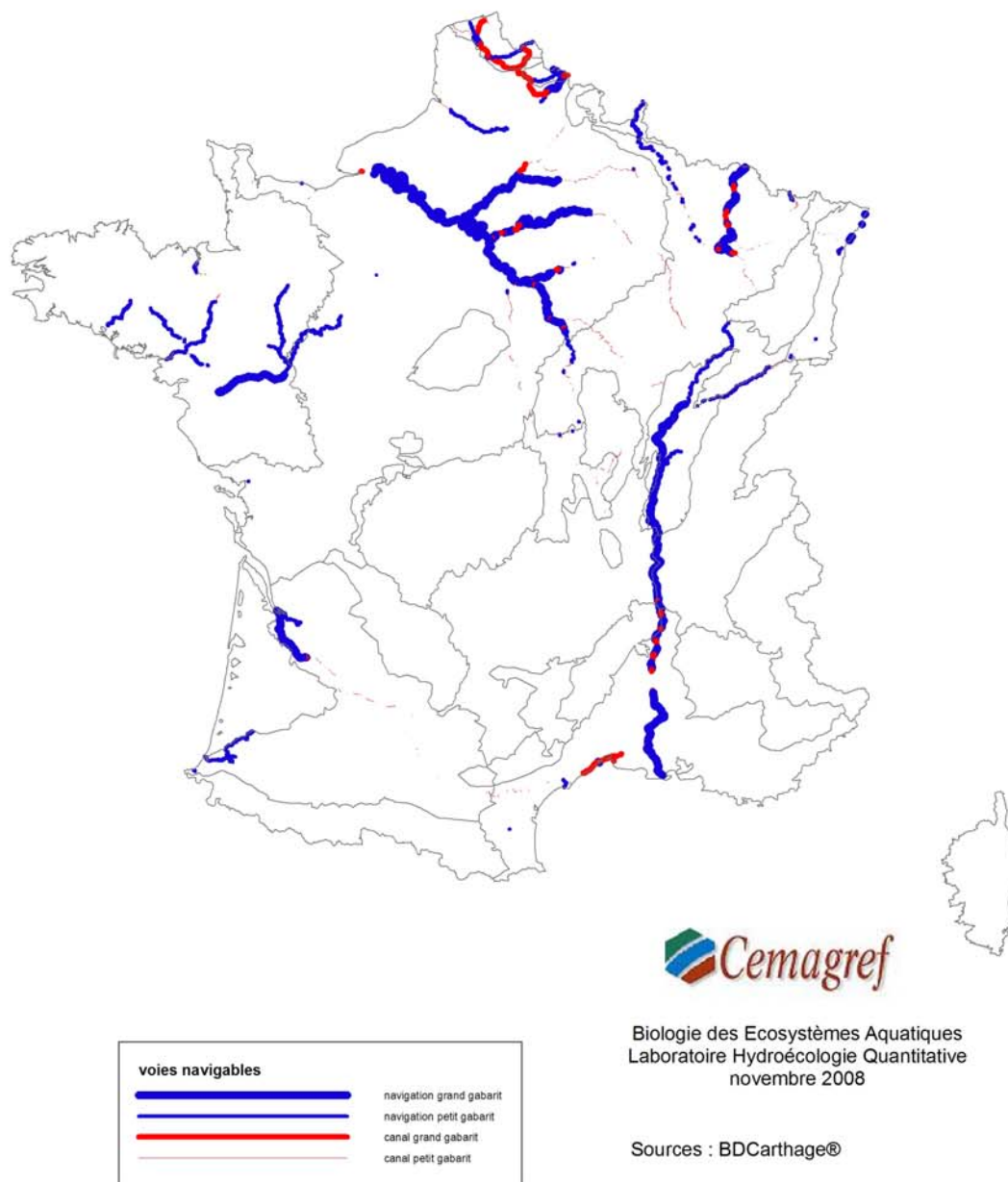


Figure 17 - Morphologie – voies navigables dans lit majeur (assimilé à 10 largeurs)

II.3.2 - Rectification et recalibrage : occupation des sols dans le corridor et à proximité immédiate du cours d'eau

□ Les sources utilisées

La source de données utilisée est Corine Land Cover 2000.

Pour cette analyse, il est proposé de focaliser l'analyse sur les types « Territoires artificialisés », et agriculture « à fort impact » de la nomenclature de Corine Land Cover, incluant zones urbaines, péri-urbaines, et industrielles (codes 1.1., 1.2., 1.3. et 1.4.) d'une part, et cultures permanentes et terres arables (codes 2.1. et 2.2., 2.4.1. et 2.4.2.) d'autre part (Annexe 4 -).

□ Traitement de l'information

Deux types de calcul ont été effectués selon l'échelle et la taille du cours d'eau analysé.

Pour les cours d'eau de rang de Strahler 4 et plus, dans chaque polygone de la couche « buffer » correspondant au lit majeur, les surfaces relatives, des occupations des sols des types agrégés sont comptabilisées ; ceci permettant de faire un calcul de ratio de surface relative artificielle d'une part, et agricole d'autre part.

Les valeurs obtenues sont affectées comme champs attributaires au réseau hydrographique.

Pour les petits cours d'eau, l'intersection des polygones d'occupation de sols avec le réseau hydrographique est effectuée pour tenir compte de la précision limitée de Corine Land Cover à l'échelle de trop petits corridors. Les proportions relatives des types agrégés par zones hydrographiques sont calculées, puis rapportées à la couche de « zones hydrographiques ».

□ Couche géographique

Deux types de cartes sont obtenus :

- les pressions concernant le lit majeur des grands cours d'eau sur une carte de réseau hydrographique (cours d'eau de rang 4 et plus regroupés par zone hydrographique) renseignée pour les champs « ratio_urbain » et « ratio_agri » ;
- les pressions exercées sur les cours d'eau plus modestes sur la carte des zones hydrographiques renseignée pour les champs « ratio_arti », « ratio_agrint ».

Des légendes sont proposées à titre indicatif pour les différentes catégories analysées.

S'agissant d'une approche par risque, très à l'amont des altérations résultantes, l'utilisation de ces cartes doit être associée à une approche d'expertise associant toutes les connaissances de terrain disponibles.

Les limites de légende utilisée s'appuient en partie sur les ordres de grandeur résultant de premières analyses de relation pression/impact basés sur les macro-invertébrés en rivière (Wasson et al. 2005) ; par exemple, 6 % de superficie artificialisée du bassin versant amont d'une station constituant un seuil au dessus duquel la majorité des stations sont classées en mauvais état.

□ **Altérations hydromorphologiques probables**

- stabilisation du tracé ;
- rectification du tracé ;
- digues ;
- recalibrage ;
- dans certains cas, suppression de ripisylve.

Ces cartes montrent que la présence des pressions s'organise en fonction des déterminants naturels et économiques :

- les plaines sédimentaires (à l'exception des Landes, de la Normandie) et le Massif Armoricaïn sont concernés par l'agriculture intensive tant pour les petits cours d'eau que pour les vallées alluviales, en fait, l'organisation des pressions s'explique en grande partie avec les déterminants naturels ;

- les zones urbaines dominent sur un grand tiers nord ainsi que certaines zones de montagnes (Vosges, Jura, Alpes du Nord), et quelques pôles économiques régionaux (Marseille, Toulouse, Bordeaux, Nantes, Orléans, ..) affectant les petits cours d'eau. Les axes de vallées alluviales de grands cours d'eau sont systématiquement affectés, sauf pour certaines sections de la Loire.

Risques d'altération de la morphologie: occupation du sol **Indicateur : type artificiel en lit majeur**

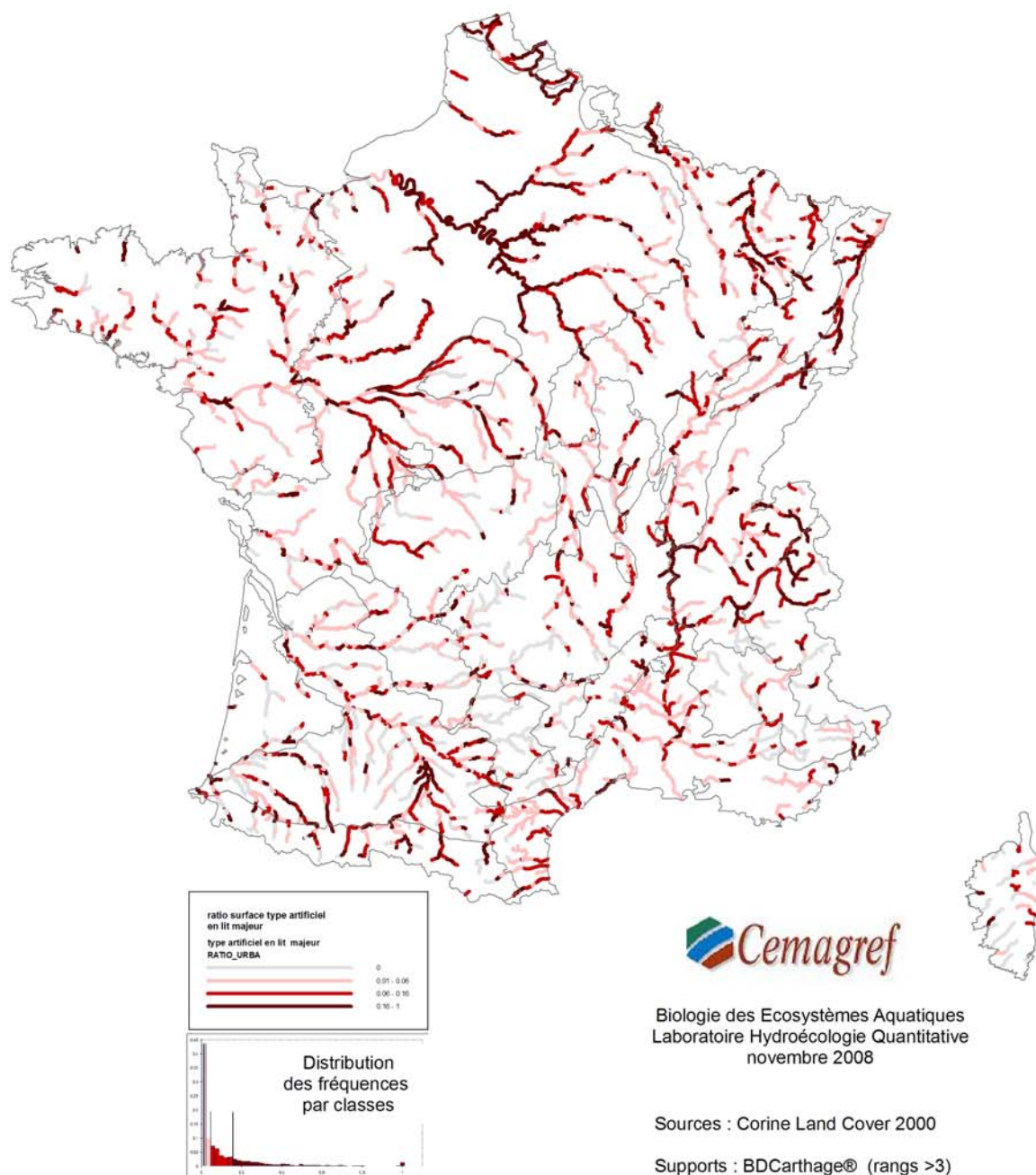


Figure 18 - Morphologie : occupation du sol type « artificiel » dans le lit majeur (assimilé à 10 largeurs)

Risques d'altération de la morphologie: occupation du sol

Indicateur : type agricole en lit majeur

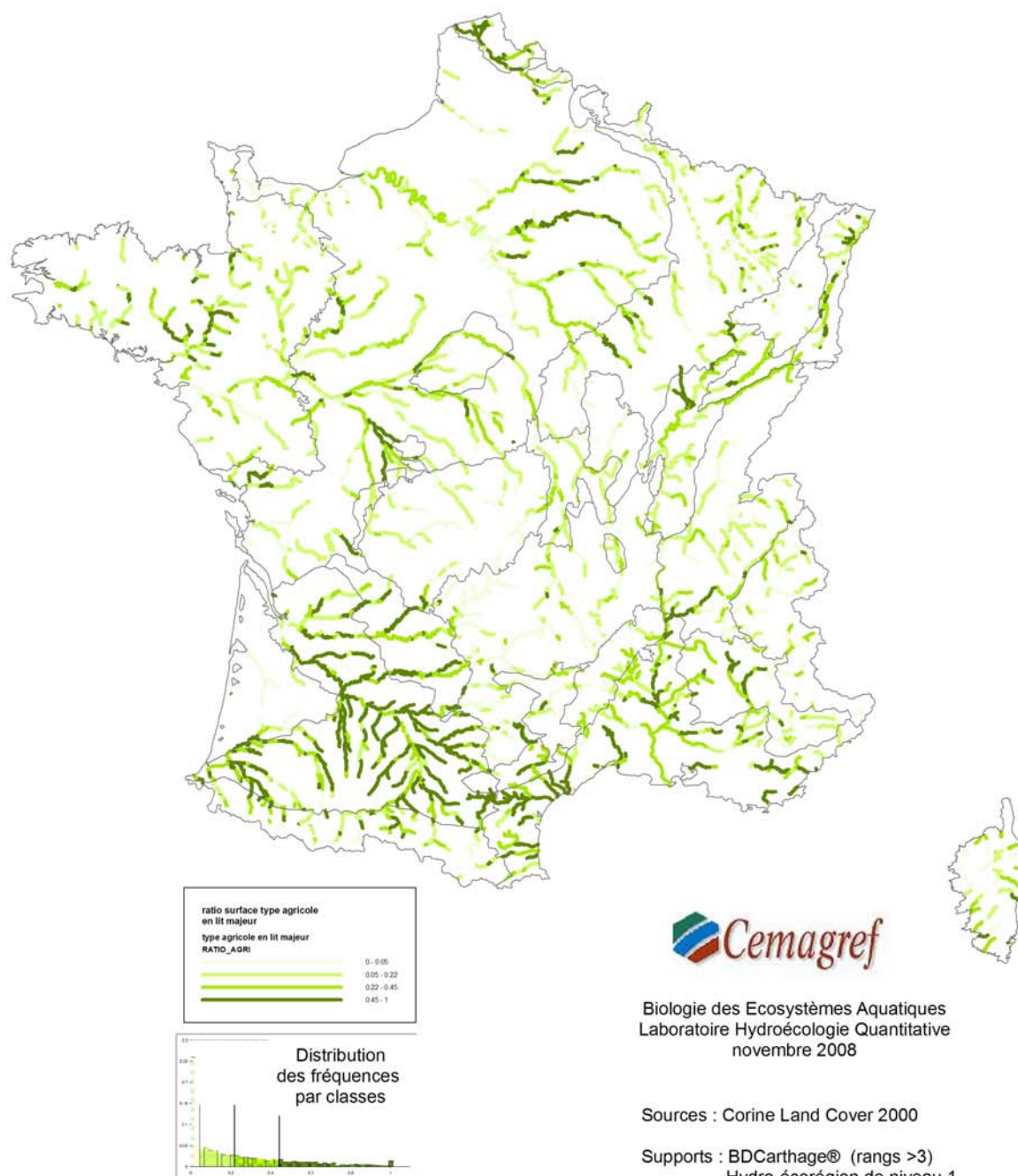


Figure 19 - Morphologie : occupation du sol type « agricole » dans lit majeur
(assimilé à 10 largeurs)

Risques d'altération de la morphologie: occupation du sol

Indicateur : type artificiel petits cours d'eau

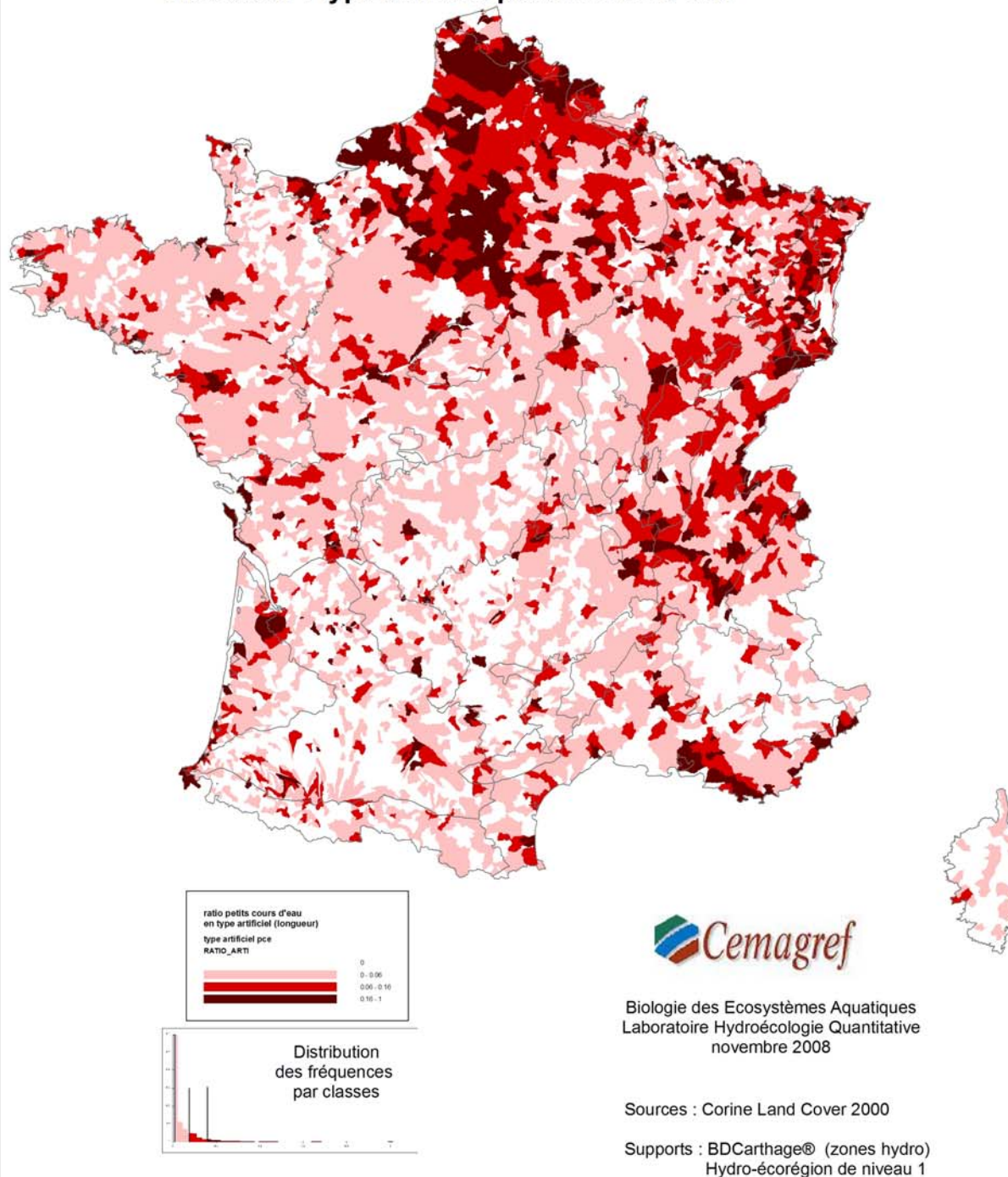


Figure 20 - Morphologie : occupation du sol type « artificiel » - petits cours d'eau

Risques d'altération de la morphologie: occupation du sol

Indicateur : type agricole petits cours d'eau

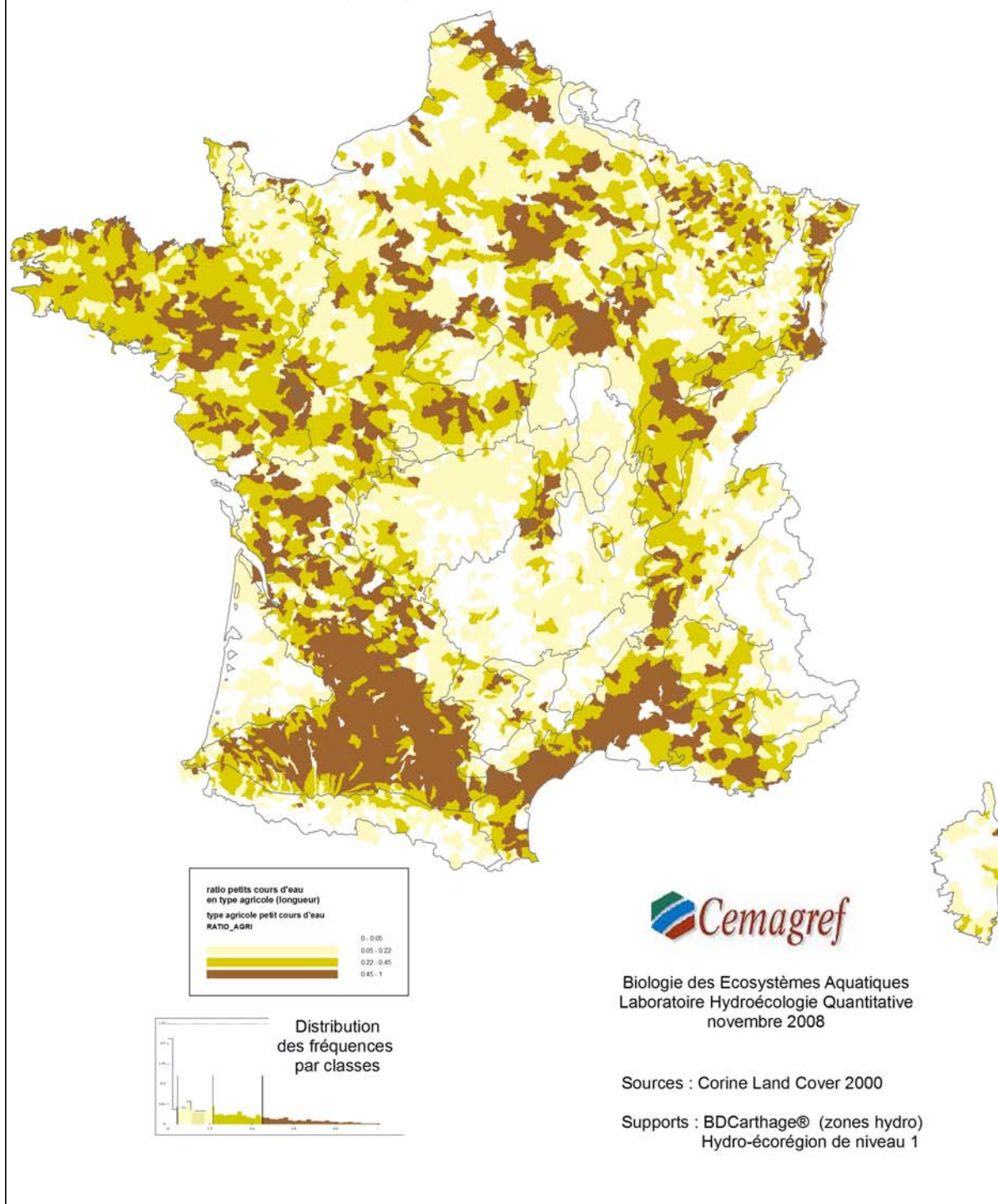


Figure 21 - Morphologie : occupation du sol type « agricole » - petits cours d'eau

II.3.3 - Ralentissement des écoulements : les seuils

□ Données disponibles

Seules des études réalisées dans certains bassins peuvent permettre d'appréhender cette pression.

Ces données sont de nature, de densité renseignée et de qualité variables selon les études entreprises dans ces bassins.

□ Descripteurs envisagés

A l'échelle de travail considérée, la densité d'ouvrages (Nb/km) est un indicateur déjà efficace pour sélectionner les secteurs où une analyse plus fine des altérations physiques induites par ce type d'aménagement est nécessaire.

Compte tenu de l'hétérogénéité de l'information existante, aucune restitution n'est proposée dans le cadre de ce rapport.

II.3.4 - Conclusion - morphologie

Les sources de données utilisées dans cette approche sont, par nature, très grossière, ce qui implique une utilisation potentielle de ces cartes à une échelle élargie, avec des objectifs d'évaluation de risques, ou de planification grossière, sans rechercher une pertinence de l'information au niveau local.

C'est surtout ce type de pressions que l'analyse développée au niveau des tronçons géomorphologiques s'appliquera à préciser, avec des données plus précises issues notamment de la BDTopo® de l'IGN.

II.4 - Synthèse

L'ensemble des documents proposé dans cette analyse à large échelle peut être récapitulé sous la forme d'un tableau.

	Aménagements & Usages	Cartes	Variables	Sources
FLUX SOLIDE	Cultures intensives (excès de sédiment fins)	Zones hydro	Erosion des sols X Cultures dominantes	INRA, IFEN 1998 OTEX RGA 2000
	Barrages	Drain principal Zone hydro	Volume stocké dans bassin versant amont M^3/km^2	Base "barrages"
			Cumul des surfaces de bassin versant amont intercepté km^2/km^2	
	Extractions de granulats Curages	Cours d'eau de rangs ≥ 4	Superficie relative de plan d'eau dans corridor	BDCarthage®
		Réseau hydrographique	cours d'eau navigable	BDCarthage®
FLUX LIQUIDE	Imperméabilisation des sols	Drain principal	Ratio occupation de sol artificiel dans bassin versant amont	Corine Land Cover 2000
		Drain principal V3	Ratio occupation de sol artificiel dans zone hydrographique	Corine Land Cover 2000
	Stockage, dérivation, prélèvement	Drain principal	Volume stocké dans bassin versant amont Selon usage Irrigation, énergie, autres	Base "barrages"
	Prélèvement	cantons	Superficie irriguée/superficie totale	RGA 1988 SCEES
		cantons	Superficie drainée/superficie totale	RGA 1988 SCEES
MORPHOLOGIE	Stabilisation Recalibrage rectification digues	Cours d'eau de rangs ≥ 4	Voies de communication dans corridor km/km	IGN ROUTES500®
			Occupation sol de type artificiel dans corridor km^2/km^2	Corine Land Cover 2000
			Occupation sol de type agriculture intensive dans corridor en km^2/km^2	
		Zones hydro	Proportion de petits cours d'eau dans Occupation sol de type artificiel	
			Proportion de petits cours d'eau dans Occupation sol de type artificiel	

Le résultat de ces analyses cartographiques constitue un ensemble de cartes pour lesquelles des légendes sont proposées afin de permettre une perception du gradient de pressions anthropiques et rendre la lecture plus facile.

Les seuils proposés résultent plus d'analyses de répartition des fréquences des phénomènes décrits que de connaissances a priori ou d'hypothèses de liens entre les activités humaines et usages des sols.

En revanche, une base d'informations géographiques quantifiées est ainsi disponible, rendant possible la prospection à large échelle des corrélations, voire des relations entre état biologique et pressions d'origine anthropique.

Mais il convient de rappeler, pour l'analyse de cas à l'échelle d'un cours d'eau, que cette base ne saurait en aucun cas se substituer à des bases de connaissances plus précises qu'elles soient d'origine géographique, ou de recueil de données de terrain ; elle peut en revanche compléter utilement ces données, en les restituant dans un contexte général.

Par ailleurs, cette base d'informations peut déjà constituer un outil complémentaire de connaissances en appui aux actions de programmation, prospective et gestion dans le domaine de l'eau.

III - BIBLIOGRAPHIE

- Chandesris, A., Mengin, N., Malavoi, J.R., Robin, N., Wasson, J.G. and Souchon, Y. (2007). Le SYstème relationnel d'audit de l'hydromorphologie des cours d'eau (SYRAH-CE). Structures physiques et fonctionnement hydromorphologique des cours d'eau.
- Chandesris, A. and Pella, H. (2006). Constitution d'une base d'information spatialisée « barrages, retenues et plans d'eau » au niveau national en vue d'évaluer les modifications hydro-morphologiques Note technique, Cemagref, BEA/LHQ, Lyon. 11 p.
- Ifen. (2005). CORINE land cover 2000 for France. Final report, 2003.CE.16.0.AT.029, 23 p.
- Malavoi, J.R., Bravard, J.P., Piégay, H., Hérrouin, E. and Ramez, P. (1998). Détermination de l'espace de liberté des cours d'eau. SDAGE, Rhône-Méditerranée-Corse. Guide technique n°2, Agence de l'Eau R.M.C. / DIREN Rhône Alpes, Lyon. 39 p.
- Montier, C., Le Bissonais, Y., Daroussin, J. and King, D. (1998). Cartographie de l'aléa « Erosion des sols » en France INRA, Orléans. 56 p. + cartes p.
- Pella, H., Sauquet, E. and Chandesris, A. (2006). Construction d'un réseau hydrographique simplifié à partir de la BD Carthage®. Ingénieries. **46**: 3-14.
- Sauquet, E. (2005). Cartographie des écoulements annuels moyens en France - Note de synthèse. Cemagref HH, Lyon. 40 p.
- Souchon, Y., Andriamahefa, H., Cohen, P., Breil, P., Pella, H., Lamouroux, N., Malavoi, J.R. and Wasson, J.G. (2000). Régionalisation de l'habitat aquatique dans le bassin de la Loire. Synthèse, Agence de l'eau Loire Bretagne, Cemagref Lyon BEA/LHQ, 291 p.
- Wasson, J.G., Chandesris, A., Pella, H. and Blanc, L. (2002). Définition des Hydro-écorégions françaises métropolitaines. Approche régionale de la typologie des eaux courantes et éléments pour la définition des peuplements de référence d'invertébrés. Rapport, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Cemagref Lyon BEA/LHQ, 190 p.
- Wasson, J.G., Villeneuve, B., Mengin, N., Pella, H. and Chandesris, A. (2005). Modèles pressions / impacts. Approche méthodologique, modèles d'extrapolation spatiale et modèles de diagnostic de l'état écologique basés sur les invertébrés en rivière (IBGN). Rapport Cemagref Lyon BEA/LHQ, Lyon. 61 p + annexes.

Annexe 1 - Liste des variables décrivant les aménagements et usages

	VARIABLES - AMENAGEMENTS & USAGES	LARGE ECHELLE		TRONCONS	
		PARAMETRES	Origine des données	PARAMETRES	Origine des données
FLUX SOLIDES	Culture intensive	Note de surface pondérée (Type de culture*Risque d'Erosion)	Base RGA & Carte INRA		
	Barrages	Volume stocké / Surface bassin versant	Base Cemagref		
		Superficie interceptée / Surface bassin versant	Base Cemagref		
	Extraction de granulats	Superficie plan d'eau / Surface lit majeur	BdCarthage®	Surface Totale / Surface Cours d'eau	BdTopo®
FLUX LIQUIDE	Imperméabilisation	Surface urbanisée / Surface bassin versant	Corine Land Cover		
	Stockage	Volume relatif stocké / Volume annuel écoulé	Base Cemagref		
	Prélèvement	Surface drainée / Surface totale	Base RGA		
		Surface irriguée / Surface totale	Base RGA		
	Dérivation			Longueur Totale / Longueur Tronçon	BdTopo®
MORPHOLOGIE RESULTANTE	Digues et talus en lit majeur			Longueur digues / Longueur Tronçon	BdTopo®
	Suppression de Ripisylve	Surface urbanisée et agricole / Surface Lit majeur	Corine Land Cover	Surface Ripisylve Corridor / Surface totale Corridor	BdTopo®
	Stabilisation	Longueur voies communication / Longueur cours d'eau	Base Route500®	Longueur voies communication / Longueur Tronçon	BdTopo®
	Rectification	Surface urbanisée et agricole / Surface Lit majeur	Corine Land Cover	Longueur Totale / Longueur axe	BdTopo®
	Recalibrage	Voies navigables	BdCarthage®		
		Surface urbanisée et agricole / Surface Lit majeur	Corine Land Cover		
	Seuils transversaux	Nombre / Longueur cours d'eau	Bases Agences	Pente résultante / Pente naturelle Tronçon	Bases Agences & BdTopo®

Annexe 2 - OTEX

Orientation technico-économique des exploitations (OTEX)

L'OTEX est un code gigogne à 4 positions. Elle est calculée suivant le poids en marge brute standard (MBS) des différentes spéculations de l'exploitation parmi la MBS totale.

1. OTEX 7096 : OTEX en 70 postes calculée à partir des coefficients MBS 1996

1310 :céréales(sauf riz), oléoprotéagineux et jachère aidée>2/3
1320 : riz > 2/3
1330 : céréales, oléoprotéagineux, jachère aidée :>2/3 sauf 1310,1320
1410 : plantes sarclées>2/3
1420 :céréales, oléoproteagineux, jachères>1/3 & plantes sarclées>1/3
1430 : légumes frais de plein champ>2/3
1441 :tabac>2/3
1442 : coton> 2/3 (il n'y en a pas en France)
1443 : combinaison de cultures générales diverses sauf 1441 et 1442
2011 :légumes frais, melons, fraises en culture maraîchère de plein air > 2/3
2012 : légumes frais, melons, fraises sous verre > 2/3
2013 : maraîchage > 2/3 sauf2011,2012
2021 :fleurs et plantes ornementales de plein air > 2/3
2022 : fleurs et plantes ornementales sous verre > 2/3
2023 :cultures plein air et sous verre de fleurs et plantes ornementales > 2/3 sau12021,2022
2031 : légumes frais, melons, fraises en cultures maraîchères 101 fleurs et plantes ornementales de plein air > 2/3
2032 : légumes frais, melons, fraises et fleurs et plantes ornementales sous verre > 2/3
2033 : champignons>2/3
2034 : exploitation horticole avec cultures diverses sauf 2031,2032,2033,
3110 : vignes produisant des vins de qualité >2/3
3120 :vignes produisant d'autres vins > 2/3
3130 : vignes produisant des vins de qualité et d'autres vins > 2/3
3141 : vignes produisant des raisins de table > 2/3
3143 :vignes > 2/3 sauf3110, 3120, 3130, 3142
3211 : fruits frais autres qu'agrumes > 2/3
3212 : fruits à coque >2/3
3213 :autres fruits > 2/3 (non classés en 3211 ou 3212)
3220 : agrumeraies > 2/3
3230 : fruits et agrumes>2/3 sauf 3210, 3220
3300 :oliveraies > 2/3
3400 : exploitations de la classe3 sauf les classés 31, 32, 33
4110 : vaches laitières > 2/3
4120 : bovins lait > 2/3 sauf4110
4210 : bovins> 2/3 et vaches laitières < ou = 1/10 et autres vaches > 1/3
4220 : bovins> 2/3 et vaches laitières < ou = 1/10 et autres vaches < ou = 1/3
4310 : tous les bovins> 2/3 et vaches laitières > 1/4 sauf4110, 4120,
4320 : tous les bovins >2/3et1/10< vaches laitières<ou=1/4
4410 : ovins > 2/3
4420 : bovins> 1/3, ovins> 1/3
4430 : caprins > 2/3
4440 : prairies et herbivores>2/3 et bovins<ou=2/3
5011 : truies reproductrices >2/3

5012 : porcelets et autres porcs >2/3
 5013 : porcs > 2/3 sauf 5011, 5012
 5021 : poules pondeuses >2/3
 5022 : poulets de chair et autres volailles > 2/3
 5023 : volailles > 2/3 sauf 5021, 5022.
 5031 : porcs > 1/3 et volailles > 1/3
 5032 : granivores > 2/3 sauf 501, 502, 5031.
 6010 : horticulture > 1/3 et cultures permanentes > 1/3
 6020 : grandes cultures > 1/3 et horticulture > 1/3
 6030 : grandes cultures > 1/3 et vignes > 1/3
 6040 : grandes cultures > 1/3 et cultures permanentes > 1/3 et vignes < ou = 1/3.
 6050 : grandes cultures > 1/3 et aucune autre activité > 1/3
 6061 : 1/3 < horticulture < ou = 2/3 et aucune autre activité > 1/3
 6062 : 1/3 < cultures permanentes < ou = 2/3 et aucune autre activité > 1/3
 7110 : prairies et herbivores < ou = 2/3 et bovins laitiers > 1/3 et vaches laitières > 2/3 de bovins
 laitiers et aucune autre activité > 1/3
 7120 : 1/3 < prairies et herbivores < ou = 2/3 et aucune autre activité > 1/3 sauf 7110
 7210 : bovins laitiers > 1/3 et granivores > 1/3 et vaches laitières > 2/3 des bovins laitiers.
 7220 : (prairies et herbivores > 1/3 et granivores > 1/3 et bovins laitiers < ou = 1/3) ou (bovins
 laitiers > 1/3 et granivores > 1/3 et vaches laitières < ou = 2/3 de bovins laitiers)
 7230 : 1/3 < granivores < ou = 2/3 et grandes cultures < ou = 1/3 et horticulture < ou = 1/3 et
 cultures permanentes < ou = 1/3
 8110 : grandes cultures > 1/3 et bovins laitiers > 1/3 et vaches laitières > 2/3 des bovins laitiers
 et bovins laitiers < grandes cultures
 8120 : bovins laitiers > 1/3 et grandes cultures > 1/3 et vaches laitières > 2/3 de bovins laitiers et
 bovins laitiers > ou = grandes cultures.
 8130 : grandes cultures > 1/3 et prairies et herbivores > 1/3 et grandes cultures > herbivores
 sauf 8110
 8140 : prairies et herbivores > 1/3 et grandes cultures > 1/3 et prairies et herbivores > ou =
 grandes cultures sauf 8110, 8120
 8210 : grandes cultures > 1/3 et granivores > 1/3
 8220 : cultures permanentes > 1/3 et prairies et herbivores > 1/3
 8231 : abeilles > 2/3
 8232 : autres ayant une mbs
 9000 : autres exploitations agricoles avec une mbs nulle

2. OTEX1896 : OTEX en 16 postes calculée à partir des coefficients MBS 1996correspondance avec OTEX7096

13 : céréales et oléoprotéagineux =1310+1320+1330

14 : cultures générales =1410+1420+1430+1441+1442+1443

28 : maraîchage = 2011+2012+2013

29 : fleurs et horticulture diverse = 2021 + 2022 + 2023 + 2031 + 2032 + 2033+ 2034

37 : viticulture d'appellation = 3110

38 : autre viticulture = 3120+3130+3141+3143

39 : fruits et autres cultures permanentes = 3211+3212+3213+3220+3230+3300+3400

41 : bovins lait = 4110+4120

42 : bovins viande = 4210+4220

43 : bovins lait-viande = :4310+4320

44 : autres herbivores = 4410+4420+4430+4440

50 : granivores = 5011 + 5012 + 5013 + 5021 + 5022 + 5023 + 5031 + 5032

60 : polyculture = 6010 + 6020+ 6030+ 6040 + 6050 +6061 + 6062

71: polyélevage orientation herbivores = 7110+7120

72 : polyélevage orientation granivores = 7210+7220+7230

81 : grandes cultures et herbivores =8110+8120+8130+8140

82 : autres associations = 8210+8220+8231+8232

90 : exploitations non classées = 9000

Annexe 3 - Estimation de la largeur moyenne des cours d'eau

La largeur « naturelle » (en excluant le cas de cours d'eau soumis à des altérations hydromorphologiques d'origine anthropique) est la variable morphologique représentative de la taille du cours d'eau. (Wasson *et al.* 2002)

Cette largeur correspond à la largeur du lit mineur non végétalisé.

NB : Le cas particulier des cours d'eau dit « à tresses » n'est pas concerné par la présente note.

Plusieurs données connues permettent d'identifier des ordres de grandeur de largeurs liés à des classes de tailles.

Une série de 180 tronçons de cours d'eau dans le bassin de la Loire a fait l'objet de mesures et de calculs de largeurs moyennes, (Souchon *et al.* 2000) permettant d'identifier un lien entre ordination en rang de Strahler et largeur (figure 1)

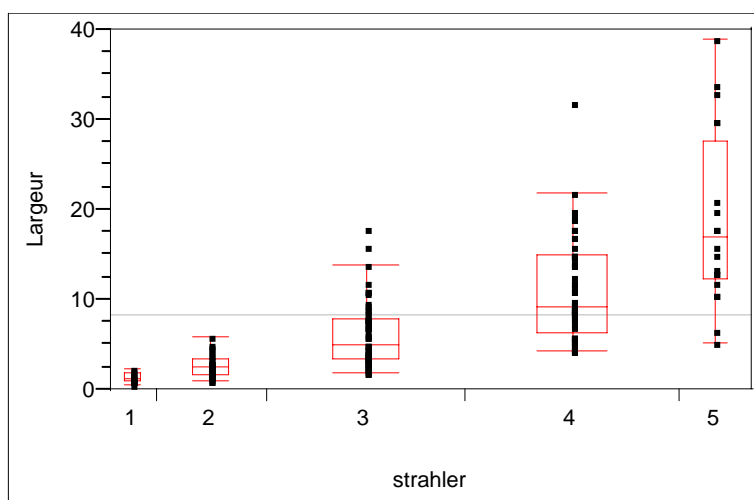


Figure 1 (Annexe 3) - Relation entre largeur moyenne de tronçons et rangs de Strahler ((Souchon *et al.* 2000) Régionalisation de l'habitat aquatique du bassin de la Loire)

Dans le cadre d'une étude sur la région Franche Comté, des largeurs (850 environ) ont été recueillies sur orthophotoplans à 0.5 m (Malavoi *et al.*, 2006), et les données de la première campagne de prélèvements du réseau de référence de la DCE inclut l'information largeur, l'ensemble de ces informations d'origine diverses peuvent être reporté sur le graphique suivant (figure 2).

Ces informations doivent être interprétées en tenant compte des éléments suivants :

- les valeurs obtenues dans le cadre de l'étude « Loire » ont été mesurée en application d'un protocole rigoureux (moyenne de mesures par tronçons), en revanche, les cours d'eau mesurés sont de rangs 5 au maximum ;
- les valeurs issues de l'étude Franche Comté concernent un réseau à dominante karstique pour lesquels les rangs de Strahler sous-estiment la taille des petits cours d'eau au moins jusqu'au rang 4 ;

- les valeurs issues du réseau de référence, situées de préférence vers l'amont moins affecté en général par les pressions d'origine anthropique, représentent plutôt la borne inférieure de la classe de taille.

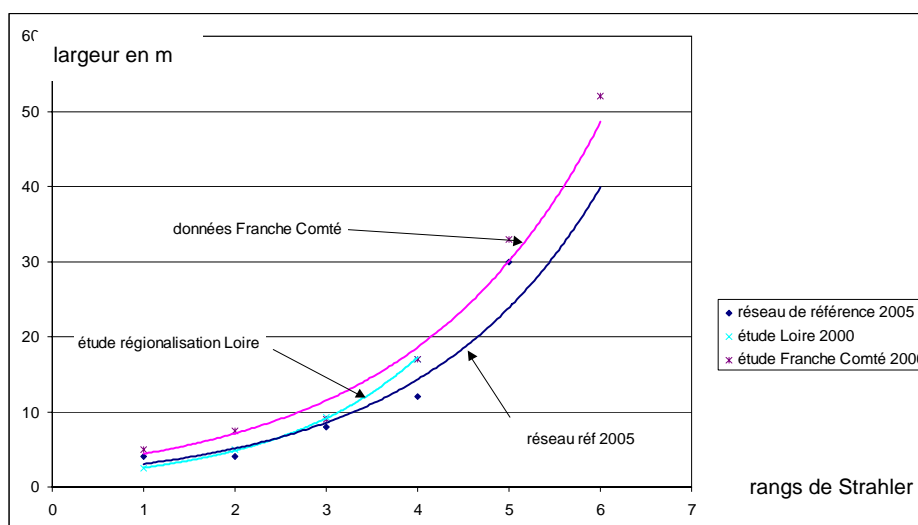


Figure 2 (Annexe 3) - Médianes de largeurs et rangs de Strahler obtenues par différentes sources

En revanche, on constate que les distributions de ces médianes en fonctions des rangs suivent des lois de même nature.

Les comparaisons des valeurs obtenues par extrapolation par rangs de Strahler (tableau 1) permet de reconstituer une médiane entre courbes extrêmes, que nous proposons d'utiliser comme ordre de grandeur, à défaut de mesures plus systématiques disponibles.

Tableau 1 (Annexe 3): données largeurs/rang de Strahler extrapolées et valeur médiane des extrêmes

	valeurs extrapolées avec FC	valeurs extrapolées avec BV Loire	valeurs extrapolées avec réseau référence	médiane des extrêmes (arrondie)
1	4.4	3.1	3.1	4
2	7.1	5.8	5.1	6
3	11.5	10.6	8.5	10
4	18.6	19.7	14.1	15
5	30.1	36.4	23.3	30
6	48.6	67.3	38.6	55
7	78.5	124.3	63.9	95
8	126.8	229.9	105.8	170

Annexe 4 - Classes de couvertures des sols de Corine Land Cover 2000 utilisées dans le rapport

1 Territoires artificialisés

1.1 Zones urbanisées

1.1.1 Tissu urbain continu

Espaces structurés par des bâtiments. Les bâtiments, la voirie et les surfaces artificiellement recouvertes couvrent la quasi-totalité du sol. La végétation non linéaire et le sol nu sont exceptionnels.

1.1.2 Tissu urbain discontinu

Espaces structurés par des bâtiments. Les bâtiments, la voirie et les surfaces artificiellement recouvertes coexistent avec des surfaces végétalisées et du sol nu, qui occupent de manière discontinue des surfaces non négligeables.

1.2 Zones industrielles ou commerciales et réseaux de communication

1.2.1 Zones industrielles ou commerciales

Zones recouvertes artificiellement (zones cimentées, goudronnées, asphaltées ou stabilisées : terre battue, par exemple), sans végétation occupant la majeure partie du sol. Ces zones comprennent aussi des bâtiments et / ou de la végétation.

1.2.2 Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés

Autoroutes, voies ferrées, y compris les surfaces annexes (gares, quais, remblais). Largeur minimale prise en compte : 100 m.

1.2.3 Zones portuaires

Infrastructures des zones portuaires, y compris les quais, les chantiers navals et les ports de plaisance.

1.2.4 Aéroports

Infrastructures des aéroports : pistes, bâtiments et surfaces associées.

1.3 Mines, décharges et chantiers

1.3.1 Extraction de matériaux

Extraction de matériaux à ciel ouvert (sablières, carrières) ou d'autres matériaux (mines à ciel ouvert). Y compris gravières sous eau, à l'exception toutefois des extractions dans le lit des rivières.

1.3.2 Décharges

Décharges et dépôts des mines, des industries ou des collectivités publiques.

1.3.3 Chantiers

Espaces en construction, excavations et sols remaniés.

1.4 Espaces verts artificialisés, non agricoles

1.4.1 Espaces verts urbains

Espaces végétalisés inclus dans le tissu urbain. Y compris parcs urbains et cimetières avec végétation.

1.4.2 Equipements sportifs et de loisirs

Infrastructures des terrains de camping, des terrains de sport, des parcs de loisirs, des golfs, des hippodromes... y compris les parcs aménagés non inclus dans le tissu urbain.

2 Territoires agricoles sous ensemble «Agriculture intensive »

2.1 Terres arables

2.1.1 Terres arables hors périmètres d'irrigation

Céréales, légumineuses de plein champ, cultures fourragères, plantes sarclées et jachères. Y compris les cultures florales, forestières (pépinières) et légumières (maraîchage) de plein champ, sous serre et sous plastique, ainsi que les plantes médicinales, aromatiques et condimentaires. Non compris les prairies.

2.1.2 Périmètres irrigués en permanence

Cultures irriguées en permanence ou périodiquement, grâce à une infrastructure permanente (canal d'irrigation). Une grande partie de ces cultures ne pourrait pas être cultivée sans l'apport artificiel d'eau. Non compris les surfaces irriguées occasionnellement.

2.1.3 Rizières

Surfaces aménagées pour la culture du riz. Terrains plats avec canaux d'irrigation. Surfaces régulièrement recouvertes d'eau.

2.2 Cultures permanentes

2.2.1 Vignobles

Surfaces plantées de vignes.

2.2.2 Vergers et petits fruits

Parcelles plantées d'arbres fruitiers ou d'arbustes fruitiers : cultures pures ou mélange d'espèces fruitières, arbres fruitiers en association avec des surfaces toujours en herbe. Y compris les châtaigneraies et les noiseraies.

2.2.3 Oliveraies

Surfaces plantées d'oliviers, y compris oliviers et vignes sur la même parcelle.

2.4 Zones agricoles hétérogènes

2.4.1 Cultures annuelles associées aux cultures permanentes

Cultures temporaires (terres arables ou prairies) en association avec des cultures permanentes sur les mêmes parcelles.

2.4.2 Systèmes cultureux et parcellaires complexes

Juxtaposition de petites parcelles de cultures annuelles diversifiées, de prairies et / ou de cultures permanentes complexes.

Annexe 5 - Projet SIG utilisable avec les logiciels ESRI

Description des couches (shapes) disponibles (demande auprès du Pôle Scientifique ONEMA-CEMAGREF)

Couches de travail

	Usage des sols & aménagement	shape	attribut utilisé	Légende (*.avl pour arcgis)
Flux solides	érosion des sols cultures agricoles	zh_occsol_erosion	eros_sau	eros_culture.avl
	volume de stockage amont	drain_flux_solide	ratio_vol	vol_amt_4%.avl
	BV amont intercepté	drain_flux_solide	ratio_bv	surf_amt_intercept.avl
	gravières en lit majeur	ce_rg4plus	ratio_grav	drainp_grav.avl
	cours d'eau navigables	voie_navigable_rivcod	nat_gab	voie_nav_rivcod.avl
Flux liquides	zones urbaine imperméables	bv_amont_artif	urbain_tot	bv_amont_artif.avl
		ocsol_zh_dpv3	ratio_arti	impermeab_artif_zh.avl
	stockage amont	drain_flux_liquide	eclmt_tot	ecoulemnt_tot.avl
	stockage amont irrigation	drain_flux_liquide	eclmt_irri	infl_irrigation.avl
	stockage amont hydroélectricité	drain_flux_liquide	eclmt_hydr	infl_hydroelectricite.avl
	stockage amont autres usages	drain_flux_liquide	eclmt_autr	infl_autres.avl
	irrigation	irr_drain_88	ratio_irr	irr_88.avl
Morphologie	drainage	irr_drain_88	ratio_drai	drainage.avl
	voies de communication	ce_rg4plus_zh	ratio_comm	comm_buf10l.avl
	voies navigables en lit majeur	voie_nav_buff	nat_gab	voienavbuff.avl
	type artificiel en lit majeur	ce_rg4plus_zh	ratio_urbain	artif_buff10l.avl
	type agricole en lit majeur	ce_rg4plus_zh	ratio_agri	agri_buff10l.avl
	type artificiel petits cours d'eau	zh_occsol	ratio_arti	intersect_pce_artif.avl
	type agricole petits cours d'eau	zh_occsol	ratio_agri	intersect_pce_agrii.avl

Habillage

objet	shape	attribut utilisé	Légende (* .avl pour arcgis)
hydro-écorégions de niveau 1	Her1	sans objet	sans objet
hydro-écorégions de niveau 2	Her2	pent_med	pente_her2_4%.avl
délimitation	contourfrance	sans objet	sans objet
délimitation des bassins	agences	sans objet	sans objet
retenues et plans d'eau	retenues_2007	p. m.	p. m.

sous arcgis 9.x

copier le dossier « atlas large échelle » dans le répertoire de votre choix
ouvrir le projet « syrah_atlas.mxd »
les couches sont organisées en trois blocs de données : « flux solides », « flux liquides », « morphologie »

1/ activation d'un bloc : click droit sur le nom du bloc (« flux solides » par exemple), et click sur « activer »

2/ rendre les couches visibles (! rouge) : click droit sur une des couches, puis sur « données », puis « définir la source de données » et choisir la couche dans la fenêtre de l'explorateur (dans le dossier que vous avez sauvegardé), recommencer l'opération pour les couches qui ne sont pas activées (deux cas, les couches de « travail », ou les couches d' « habillage » décrites dans le tableau ci-dessus

3/ il est possible de rendre les couches visibles en cochant la case devant son nom (sans oublier d'activer le bloc de données auquel elle appartient), on peut également les déplacer pour rendre en superposition (contours sur carte avec polygones de couleur : contour agences sur risques d'érosion des sols)

pour une utilisation sur arcview3.x , les légendes (fichiers .avl) sont disponibles pour reconstituer le projet.