



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

J.G. Wasson, A. Chandesris, H. Pella, L. Blanc

► To cite this version:

J.G. Wasson, A. Chandesris, H. Pella, L. Blanc. 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. irstea. 2002, pp.190. hal-02580774

HAL Id: hal-02580774

<https://hal.inrae.fr/hal-02580774>

Submitted on 14 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Définition des Hydro-écorégions françaises métropolitaine

**Approche régionale de la
typologie des eaux courantes
et éléments pour la définition
des peuplements de référence
d'invertébrés**

Rapport final

**Jean-Gabriel WASSON, André CHANDESRIS
Hervé PELLA, Laurence BLANC**

Département Gestion des Milieux Aquatiques
Unité de Recherche Biologie des Ecosystèmes Aquatiques
Laboratoire d'Hydroécologie Quantitative

Groupeement de Lyon
3 bis Quai Chauveau, CP 220
69336 Lyon cedex 09
Tél. 04 72 20 87 87 - Fax 04 78 47 78 75

Juin 2002

Unité de Recherche Biologie des Écosystèmes Aquatiques
Département Gestion des Milieux Aquatiques
Laboratoire d'Hydroécologie Quantitative
3 bis quai Chauveau, CP 220
69366 Lyon Cedex 09
Tél. 04 72 20 87 87 - Fax 04 78 47 78 75

**Titre : Les hydro-écorégions de France métropolitaine
approche régionale de la typologie des eaux courantes et éléments pour la définition des
peuplements de référence d'invertébrés.**

Auteur(s) : Jean-Gabriel WASSON, André CHANDESRIS, Hervé PELLA, Laurence BLANC

Résumé :

Le rapport de phase I de la présente étude avait pour objectif de proposer, à l'échelle du territoire métropolitain, une approche régionale de la typologie des écosystèmes d'eaux courantes adaptée aux préconisations de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau.

Le présent rapport a deux objectifs principaux : définir et caractériser les hydro-écorégions pour la France métropolitaine, et tester de manière indépendante la validité de cette approche pour définir les conditions de référence des peuplements d'invertébrés benthiques.

Une carte à l'échelle du 1/1 000 000^{ème} des hydro-écorégions a été produite, assortie d'une classification et d'une description détaillée. Au total, 22 HER-1 ont été identifiées sur des critères combinant le géologie, le relief et le climat, considérés de manière universelle comme les déterminants primaires du fonctionnement des écosystèmes d'eaux courantes. Ces HER-1, couplées à une description longitudinale du réseau à partir des rangs de Stralher, fournissent la base de la typologie requise pour la mise en application de la Directive.

Un deuxième niveau de régionalisation est également défini, aboutissant à la description quantifiée d'une centaine d'hydro-écorégions de niveau 2. Ces HER-2 servent à préciser la variabilité interne des HER-1.

Nous avons analysé une base de données interne au Cemagref, regroupant 239 relevés faunistiques à la famille, échantillonnés sur 88 stations de référence, réparties dans 10 HER-1 regroupées pour les besoins de l'analyse en 6 écorégions..

Dans l'ensemble, l'analyse des peuplements d'invertébrés benthiques valide de manière très satisfaisante l'approche par hydro-écorégions. Cette conclusion se fonde sur quatre points principaux :

- Il existe une distribution « écorégionale » des peuplements d'invertébrés ;
- L'effet « écorégion » apparaît largement prépondérant par rapport à l'influence des autres facteurs, comme le rang ou la saison, qui apportent toutefois une part significative d'explication à la distribution des peuplements et devront être pris en compte ;
- Des comparaisons entre la typologie par hydro-écorégions et des classifications automatiques effectuées directement sur la faune montrent que le pouvoir discriminant des 6 écorégions est très bon, voire excellent, puisqu'il explique selon les méthodes utilisées 85% à 97% de la variance maximale explicable par une classification faunistique en 6 groupes ;
- Cette régionalisation de la faune se traduit par des variations significatives de métriques fondamentales utilisées en bioindication, notamment la richesse taxonomique et la distribution des groupes de taxons indicateurs qui constituent l'IBGN.

En conclusion, la typologie des eaux courantes par hydro-écorégions constitue une approche robuste, opérationnelle et scientifiquement fondée pour la mise en application de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau.

Mots-clés :

Eaux courantes, typologie, référence, écorégions, invertébrés benthiques, Directive Cadre Européenne
Streams, rivers, typology, reference, ecoregion, benthic invertebrates, Water Framework Directive.

CONTRAT	PROGRAMME DE RECHERCHE	DATE	DIFFUSION
N° 2001 06 9 084 U	HYDRECO (LHQ)	Juin 2002	tous publics ☐
			interne ☒
			confidentielle ☐

Sommaire

AVANT PROPOS.....	8
I - INTRODUCTION.....	11
Rappel de la problématique.....	11
Les hydro-écorégions : rappel du cadre conceptuel.....	12
Rappel des principes méthodologiques.....	13
II - MÉTHODES DE DÉLIMITATION DES HYDRO-ÉCORÉGIONS	15
Préambule.....	15
II.1 - Données géographiques utilisées	15
II.2 - Le traitement des données géographiques.....	16
III - LES HYDRO-ÉCORÉGIONS DE FRANCE MÉTROPOLITAINE	18
III.1 - Principes de définition des hydro-écorégions.....	18
III.2 - Les hydro-écorégions de niveau 1	19
III.3 - Les hydro-écorégions de niveau 2	34
IV – HYDRO-ÉCORÉGIONS ET PEUPELEMENTS D'INVERTÉBRES.....	37
IV.1 - Problématique	37
IV.2 - Présentation des données.....	37
IV.3 - Résultats et discussions.....	43
V – CONCLUSIONS GÉNÉRALES.....	69
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	71
ANNEXE 1 GÉOLOGIE (DONNÉES GÉOGRAPHIQUES).....	74
1. Les données existantes et disponibles	74
2. Classification des roches.....	74
3. Méthodologie.....	79
4. Les résultats	82
5. Conclusion.....	83

ANNEXE 2 LE RELIEF (DONNÉES GÉOGRAPHIQUES)	92
L'altitude	92
La pente	92
Relief ombré (Hillshade).....	92
Pentes des vallées (thalwegs)	92
ANNEXE 3 LE CLIMAT (DONNÉES GÉOGRAPHIQUES).....	99
Précipitations annuelles moyennes (période 1960 – 1990)	99
Précipitations saisonnières	99
Cartes de saisonnalité	99
Carte des précipitations maximales sur 24 heures de période de retour 10 ans.....	99
Carte des températures maximales du mois de juillet	99
ANNEXE 4 AUTRES DONNÉES GÉOGRAPHIQUES	110
Carte des régions écologiques de Dupias et Rey (1980)	110
Support de travail : la Base de Données CarThAge	110
ANNEXE 5 DESCRIPTION DES HYDRO-ÉCORÉGIONS DE DEUXIÈME NIVEAU	113
ANNEXE 6 : TYPOLOGIE DES MASSES D'EAU PAR COUPLAGE HER X RANG	146
ANNEXE 7 CARACTÉRISATION QUANTITATIVE DES HYDRO-ÉCORÉGIONS - DONNÉES.....	156
Géologie	156
Relief.....	161
Climat	174

LISTE DES FIGURES

Figure 1 – Les deux systèmes typologiques proposés par la Directive Cadre	11
Figure 2 – <i>Cadre conceptuel de la régionalisation</i> : représentation schématique de l’emboîtement hiérarchique des facteurs de contrôle des écosystèmes d’eau courantes.	13
Figure 3. 1 – Classification des hydro-écorégions en climat méditerranéen	19
Figure 3. 2 – Classification des hydro-écorégions de « plaines et collines »	20
Figure 3. 3 – Classification des hydro-écorégions « massifs montagneux »	22
Figure 3. 4 – Carte des hydro-écorégions de niveau 1 de la France métropolitaine	24
Figure 3.5 – Analyse en composantes principales (ACP normée) des HER1 à partir des variables géologiques	
Cercle de corrélation des variables géologiques	28
Figure 3.6 – Plan factoriel de l’ACP des HER-1 en fonction des variables géologiques	28
Figure 3.7 – Répartition par hydro-écorégion des variables géologiques	29
Figure 3. 8 – Carte des hydro-écorégions de niveau 2 pour la France métropolitaine	36
Figure 4.1 – Localisation des 88 stations de référence étudiées dans 6 « écorégions » constituées par regroupements de HER-1.	39
Figure 4.2 – Pentes et altitudes des stations échantillonnées dans les six écorégions,	40
Figure 4.3 – AFC du tableau d’abondance faunistique global (transformation log) [225 stations-dates x 81 taxons-famille] (%Occ>3).	44
Figure 4.4 – Représentation, en fonction de l’altitude et par écorégion, des coordonnées des relevés sur l’axe 1 issus de l’AFC du tableau d’abondance faunistique (trans. log) [225 relevés x 81 taxons]	47
Figure 4.5 – Représentation, en fonction de la pente par écorégion, des coordonnées des relevés sur l’axe 1 issus de l’AFC du tableau d’abondance faunistique (transf. log) [225 relevés x 81 taxons]	48
Figure 4.6 – Représentation de l’abondance (log) moyenne écorégionale des 81 taxons ordonnées selon l’axe 1 de l’AFC inter-régions effectuée à partir du tableau d’abondance faunistique (trans. log) [225 relevés x 81 familles].	50
Figure 4.7 – AFC inter-écorégions effectuée à partir du tableau d’abondance faunistique (trans. log) [225 rel x 81 taxons] : plan factoriel 1-2 des taxons avec identification de groupes faunistiques caractéristiques.....	51
Figure 4.8 – Etude de l’effet <i>rang par écorégion</i> à partir du tableau d’abondance faunistique (transf. log) [225 relevés x 81 taxons-famille] : AFC intra-écorégion.	55
Figure 4.9 – Etude de l’effet <i>saison par écorégion</i> à partir du tableau d’abondance faunistique (transf. log) [225 relevés x 81 taxons-famille] : AFC intra-écorégion.	56
Figure 4.10 – Répartition en % des relevés écorégionaux dans les groupes définis par une classification selon la méthode de Ward sur le tableau d’abondance faunistique (transformé log).	58
Figure 4.11 – Dendrogrammes de similarité moyenne basés sur le coefficient de Sorensen (A et B) ou sur celui de Bray-Curtis (Cet D) calculé pour les assemblages d’invertébrés (81 taxons-famille – 225 relevés) dans les 6 écorégions (A et C) et dans les 6 groupes obtenus à partir d’une classification UPGMA (B et D).	60
Figure 4.12 – Variabilités écorégionales de l’abondance faunistique totale, de la richesse taxonomique, de la diversité de Shannon et de l’équitabilité : box plots (médiane, 1er, 3ème quartile, interquartile, minimum, maximum) et tracé des moyennes ± écart-type.	63
Figure 4.13 – Fréquence d’apparition des taxons indicateurs par écorégions.	64
Figure 4.14 – Pourcentages de l’abondance relative par écorégion des principaux groupes faunistiques.	66
Figure 4.15 – Variabilité écorégionale du nombre de taxons « crustacés + mollusques » :box-plots et valeur moyenne ± écart-type.	67
Figure 4.16 – Variabilités écorégionales de l’indice EPT : box plots et valeur moyenne ± écart-type.	67
Figure 7.1 – Représentatif de la distribution des valeurs d’altitudes par HER de niveau 1	162
Figure 7.2 – Représentation de la distribution des valeurs de pente par HER de niveau 1	165
Figure 7.3 – Représentation de la distribution des valeurs de pente de thalwegs par HER de niveau 1	168
Figure 7. 4 – Représentation de la distribution des valeurs de densité du réseau hydrographique par HER de niveau 1	171
Figure 7. 5 – Représentation de la distribution des précipitations annuelles moyennes par HER de niveau 1	175
Figure 7. 6 – Représentation de la distribution des valeurs de nombre moyen annuel de jours de pluie par HER de niveau 1	178
Figure 7. 7 – Représentation de la distribution des valeurs de l’écart saisonnier des précipitations par HER de niveau 1	181
Figure 7. 8 – Représentation de la distribution des valeurs de précipitations sur 24 h de période de retour 10 ans par HER de niveau 1	184
Figure 7. 9 – Représentation de la distribution des valeurs de températures maximales du mois de juillet par HER de niveau 1	187

LISTE DES CARTES

Carte 1.1. Répartition de la catégorie « schistes métamorphiques ».....	80
Carte 1.2. Faciès spécifiques décrits dans la carte géologique au 1/1.000.000 ^{ème} (6 ^{ème} Edition).....	81
Carte 1.3. Identification du faciès des argiles de la Woëvre au nord est de Nancy.....	82
Carte 1.4. Types de roches.....	87
Carte 1.5 Influence de la nature des roches sur la chimie de l'eau	88
Carte 1.6. Résistance à l'érosion	89
Carte 1.7. Perméabilité du sous sol.....	90
Carte 1.8. Densité du réseau hydrographique.....	91
Carte 2.1. Altitudes en surfaces équivalentes.....	93
Carte 2.2. Altitudes classées en « seuils naturels ».....	94
Carte 2.3. Pentes des terrains classées en « seuils naturels »	95
Carte 2.4. Pentes des terrains classées en surfaceséquivalentes.....	96
Carte 2.5. Représentation du relief « ombrée »	97
Carte 2.6. Pentes des thalweg.....	98
Carte 3.1. Précipitations annuelles moyennes	100
Carte 3.2. Précipitations d'automne.....	101
Carte 3.3. Précipitations d'hiver	102
Carte 3.4. Précipitations de printemps	103
Carte 3.5. Précipitations d'été	104
Carte 3.6. Saison de précipitations minimales.....	105
Carte 3.7. Saison de précipitations maximales	106
Carte 3.8. Ecart saisonnier des précipitations.....	107
Carte 3.9. Températures maximales du mois de juillet.....	108
Carte 3.10. Précipitations sur 24 Heures de période de retour 10 ans.....	109
Carte 4.1. Cartes des régions écologiques de Dupias & Rey.....	111
Carte 4.2. Carte des étages bio climatique dans le Bassin du Rhône	112

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1 - Caractéristiques lithologiques des groupes d'hydro-écorégions identifiées à partir de l'ACP normée sur les variables géologiques.....	27
Tableau 3.2 - Classes d'altitude en mètres.....	30
Tableau 3.3 - Classes de pente des terrains en %.....	30
Tableau 3.4 - Classes de pente des thalweg en %.....	30
Tableau 3.5 - Synthèse des caractéristiques de relief des hydro-écorégions de niveau 1.....	31
Tableau 3.6 - Classes de précipitations moyennes annuelles en mm. ⁽¹⁾ <i>excepté la Corse</i>	31
Tableau 3.7 - Classes de précipitations maximales journalières décennales en mm.....	32
Tableau 3.8 - Classes de l'écart saisonnier des précipitations ((saison max – saison min) / moyenne annuelle), la classe 3 n'est pas représentée en France mais pourrait exister en Europe.....	32
Tableau 3.9 - Classes de températures maximales moyennes de juillet en °C.....	32
Tableau 3.10 - Synthèse des caractéristiques de climat des hydro-écorégions de niveau 1.....	33
Tableau 4.1 - Pentes et altitudes moyennes $\pm$ écart-type des stations échantillonnées par écorégions.....	39
Tableau 4.2 - Caractéristiques des 88 stations de référence.....	42
Tableau 4.3 - Abondance et occurrence des 119 taxons présents dans les 225 relevés effectués dans 76 stations de référence avec une détermination à la famille.....	45
Tableau 4.4 - Analyse des effets de différents facteurs sur les axes 1 et 2 de l'AFC du tableau d'abondance faunistique (transf. log) [225 relevés x 81 taxons].....	46
Tableau 4.5 - Répartition écorégionale des taxons rattachés aux 7 groupes faunistiques identifiés à partir de l'AFC inter-écorégions effectuée sur le tableau d'abondance faunistique [225 relevés x 81 taxons-famille].....	51
Tableau 4.6 - Décomposition de l'inertie associée à l'AFC du tableau d'abondance faunistique (transf. log) [225 relevés x 81 taxons] : analyses des effets combinés (écorégion x rang) et (écorégion x saison).....	53
Tableau 4.7 - Similarité faunistique moyenne inter-groupes (Bm) et moyenne globale intra-groupes (Wm). ...	59
Tableau 4.8 - Moyennes $\pm$ (écart-types) écorégionales et saisonnières des différents indices faunistiques et résultats des ANOVA effectuées (modèle additif écorégion + saison).....	61
Tableau 4.9 - Fréquence d'apparition des taxons indicateurs. Cette valeur n'est pas indiquée pour les taxons dont la densité est inférieure à 3 ou à 10 (nom en italique).....	65
Tableau 1.1 - Classification des types de roches selon leur résistance à l'érosion.....	75
Tableau 1.2 - Classification des types de roches selon leur perméabilité.....	76
Tableau 1.3 - Composition chimique de l'eau provenant de bassins monolithologiques.....	77
Tableau 1.4 - Classement des types de roches selon leur caractéristiques.....	78
Tableau 1.5 - Lexique lithologie des roches magmatiques de la base de données de la carte BRGM.....	79
Tableau 1.6 - Lexique des faciès métamorphique de la base de données de la carte BRGM et proposition de classification.....	80
Tableau 1.7 - Faciès sédimentaires de la base de données de la carte BRGM et classification.....	81
Tableau 1.8 - Faciès sédimentaires dominants par étage stratigraphique et par régions.....	84
Tableau 7.1 - Répartition des surfaces en km ² des natures de roches par HER de niveau 1.....	157
Tableau 7.2- Répartition des surfaces en km ² des natures de roches par HER de niveau 2 (cf annexe 5 pour le code her2).....	158
Tableau 7.3 - Distribution des valeurs d'altitude par HER de niveau 1.....	161
Tableau 7.4 - Distribution des valeurs d'altitude par HER de niveau 2.....	164
Tableau 7.5 - Distribution des valeurs de pente par HER de niveau 1.....	165
Tableau 7.6 - Distribution des valeurs de pente par HER de niveau 2.....	166
Tableau 7.7 - Distribution des valeurs de pente de thalwegs par HER de niveau 1.....	168
Tableau 7.8 - Distribution des valeurs de pente de thalwegs par HER de niveau 2.....	170
Tableau 7.9 - Distribution des valeurs de densité du réseau hydrographique par HER de niveau 1.....	171
Tableau 7.10 - Distribution des valeurs de densité du réseau hydrographique par HER de niveau 2.....	173
Tableau 7.11 - Distribution des précipitations annuelles moyennes par HER de niveau 1.....	174
Tableau 7.12 - Distribution des précipitations annuelles moyennes par HER de niveau 2.....	177
Tableau 7.13 Distribution des valeurs de nombre moyen annuel de jours de pluie par HER de niveau 1.....	178
Tableau 7.14 Distribution des valeurs de nombre moyen annuel de jours de pluie par HER de niveau 2.....	180
Tableau 7.15 - Distribution des valeurs de l'écart saisonnier par HER de niveau 1.....	181
Tableau 7.16 - Distribution des valeurs de l'écart saisonnier par HER de niveau 2.....	183
Tableau 7.17 - Distribution des valeurs de précipitations sur 24 H à la fréquence décennale par HER de niveau 1.....	184
Tableau 7.18 - Distribution des valeurs de précipitations sur 24 H à la fréquence décennale par HER de niveau 1.....	186

Tableau 7. 19 - Distribution des valeurs de températures maximales du mois de juillet par HER de niveau 1..	187
Tableau 7. 20 - Distribution des valeurs de températures maximales du mois de juillet par HER de niveau 2..	189
Tableau 7. 21 Distribution des valeurs médianes des principales variables par HER de niveau 1	190

Avant propos

Nous précisons ici le cadre contractuel dans lequel cette étude a été réalisée.

Contexte contractuel

Ce présent rapport honore la deuxième et troisième phase de l'échéancier fixé par la convention n° 2001 06 9 084 U passée entre le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (anciennement Aménagement du Territoire et de l'Environnement) et le *Cemagref*, groupement de Lyon, relative à la « **définition des hydro-écorégions françaises et à la contribution à la détermination des conditions de référence** ».

L'annexe technique de la convention précise les tâches à réaliser :

Phase 1

- actualisation du découpage du bassin de la Loire en hydro-écorégions,
- ébauche de la méthode de détermination des conditions de référence,

Phase 2

- note justifiant la démarche du découpage à partir de données physiques, biologiques ;
- mise au point d'un plan à trois ans pour la détermination des conditions de références ;
- participation aux séminaires organisés par la Direction de l'Eau ;

Phase 3

- découpage de l'ensemble du territoire en hydro-écorégions, et constitution de fiches descriptives des caractéristiques géographiques naturelles.
- test des couplages HER/rangs .

Etat d'avancement et éléments déjà fournis dans le cadre de la Convention

Le premier rapport remis à la Direction de l'Eau début novembre 2001 comprend les éléments de la phase I, ainsi que le premier point de la phase 2 : éléments relatifs aux concepts, au choix de l'approche hydro-écorégion (HER), justifiée par des données actualisées concernant le bassin de la Loire.

Une version V.0 du découpage national en hydro-écorégions a été fourni aux agences de l'eau en janvier 2002 afin de démarrer les tests sur le découpage des masses d'eau à partir de la typologie naturelle ; des réunions de coordination ont été organisées avec les agences qui ont sollicité le *Cemagref*.

Le *Cemagref* a participé à l'ensemble des réunions du groupe Directive Cadre « Objectifs Environnementaux / Eaux de Surface Continentales » (DCE-OE/ESC) depuis le mois de février 2001, en participant aux travaux méthodologiques concernant la délimitation et la typologie des masses d'eau de surface. Il était également représenté au séminaire organisé par la Direction de l'Eau en mars 2002.

Diverses notes méthodologiques ont été produites et diffusées au groupe DCE-OE/ESC, notamment concernant la typologie des cours d'eau couplant HER et rangs de Strahler (15/02/2002 ; 4/03/2002 ; 8/04/2002).

Enfin le *Cemagref*, mandaté par le groupe DCE-OE/ESC, participe au travaux du groupe européen REFCOND concernant les conditions de référence. Suite au premier workshop tenu à Uppsala (Suède), dont le compte-rendu figurait dans le premier rapport, une deuxième réunion s'est tenue à Ispra (Italie) en décembre 2001 et la troisième se tiendra à Stockholm en septembre 2002.

Autres activités concernant l'appui à la mise en œuvre de la Directive Cadre

Parmi les diverses activités non explicitement prévues par la convention, mais relevant d'un appui scientifique pour la mise en œuvre de la Directive Cadre, on retiendra notamment

- la participation, en collaboration avec le CSP, à l'élaboration d'une *typologie des lacs et plans d'eau* cohérente avec l'approche hydro-écorégion ; la version finale de la note méthodologique correspondante a été diffusée au groupe DCE-OE/ESC en juin 2002.
- L'organisation, en collaboration avec le CNRS et les agences de l'Eau, d'un *séminaire de réflexion* intitulé « Expertise et Recherche : les enjeux de la Directive cadre », tenu à Paris les 29 et 30 avril 2002 ; plusieurs chercheurs du *Cemagref* ont présenté des contributions.

Présentation du rapport

Le présent rapport constitue le rapport final de la convention en objet ; il comprend essentiellement

- *les cartes finales des hydro-écorégions* de France continentale et de Corse, à deux niveaux de classification, avec le détail de la méthodologie, une description synthétique sous forme de cartes et de tableaux des hydro-écorégions de niveau 1, et un descriptif détaillé des HER de niveau 2 ;
- une première approche de la *définition des conditions de référence sur les invertébrés*, incluant diverses métriques de bioindication, à partir d'un jeu de données sur des stations de référence propres au *Cemagref* ; ce volet met en évidence la pertinence de l'approche typologique proposée, et fournit les bases méthodologiques pour une extension à l'échelle nationale.
- des *annexes méthodologiques* sur les hydro-écorégions (géologie) et la typologie des masses d'eau, concernant notamment le couplage des HER et des rangs de Stralher.

Remarque : mise au point d'un plan à trois ans pour la détermination des conditions de référence

Ce point prévu en phase II correspondait à deux tâches distinctes :

1) L'accompagnement méthodologique des travaux menés par le bureau d'étude SIEE dans le cadre d'une convention portant sur « la définition d'un réseau national de tronçons de référence ». Ce volet a fait l'objet d'une collaboration étroite avec SIEE, concrétisée par plusieurs réunions de travail et la production de diverses notes méthodologiques. Le rapport final de cette convention doit être publié parallèlement au présent rapport ; on y retrouvera l'essentiel de la contribution du *Cemagref*.

2) La définition d'un protocole d'échantillonnage des sites de référence concernant les invertébrés et les poissons. Ce second volet est partiellement traité en ce qui concerne les invertébrés dans le chapitre 4 du présent rapport ; néanmoins, il n'a pas encore été possible de produire le « plan à trois ans » pour plusieurs raisons :

- L'étude SIEE, qui conditionne la sélection des sites de référence, a pris un certain retard pour des problèmes techniques et méthodologiques ;
- Deux projets de recherche européens sont en cours sur ce thème, l'un concernant les invertébrés (projet STAR) et l'autre les poissons (FAME) ; il apparaît éminemment souhaitable de pouvoir s'appuyer sur les protocoles en cours de mise au point dans le cadre de ces projets pour caler un protocole harmonisé avec nos partenaires européens.

- Le problème de la définition des conditions de référence est également traité par le groupe Directive Cadre Européen REFCOND, (auquel le *Cemagref* participe), et les protocoles d'échantillonnage sont aussi du ressort du groupe INTERCALIBRATION. Le groupe REFCOND doit rendre ses conclusions en octobre 2002. Il apparaît également souhaitable d'attendre ces recommandations pour fixer un protocole.

Toutefois, nous sommes bien conscients de la nécessité d'avancer rapidement sur ce point pour préparer la campagne d'échantillonnage des sites de référence prévue en 2003. Des contacts seront pris au cours du troisième trimestre 2002 avec les participants français aux projets STAR (notamment Mr Philippe Usseglio-Polatera) et FAME. En ce qui concerne les poissons, des contacts seront également pris avec le CSP. L'objectif est de fournir dans le courant du mois d'octobre 2002, après la dernière réunion du groupe REFCOND, une note méthodologique permettant de préciser le cahier des charges des études à lancer au printemps 2003.

I - Introduction

Rappel de la problématique

La Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCEE) pose clairement le principe d'une évaluation de l'état écologique des milieux aquatiques par la mesure d'un écart à des conditions de référence propres à chaque type, principalement sur la base de bioindicateurs. La première étape de sa mise en œuvre, en ce qui concerne les eaux de surface continentales, passe donc par l'établissement d'une typologie permettant la définition des conditions de référence biologiques, mais aussi hydro-morphologiques et physico-chimiques.

Pour répondre pleinement à ces exigences, cette typologie devrait être basée sur les processus qui génèrent les différents types de milieux, et leurs peuplements associés : plus qu'une simple classification, il faudrait aboutir à une typologie fonctionnelle.

De plus, l'objectif ambitieux de « bonne qualité écologique » imposera d'optimiser les priorités de restauration en fonction des pathologies dominantes des cours d'eaux, qui dépendent de leurs caractéristiques naturelles et des pressions anthropiques, les unes et les autres fortement structurées par la géographie. Dans cette optique, il serait très intéressant que cette typologie serve aussi de cadre pour la gestion des milieux, et donc soit cohérente avec la spatialisation des causes d'altération.

Dans le rapport de phase I de la présente convention (Wasson et al. 2001), nous avons longuement argumenté l'intérêt d'une approche régionalisée, et proposé d'appliquer à l'échelle nationale la méthode des hydro-écorégions qui a été testée sur le bassin de Loire.

Nous rappelons ci-après les éléments essentiels de cette démarche.

Choix d'un système

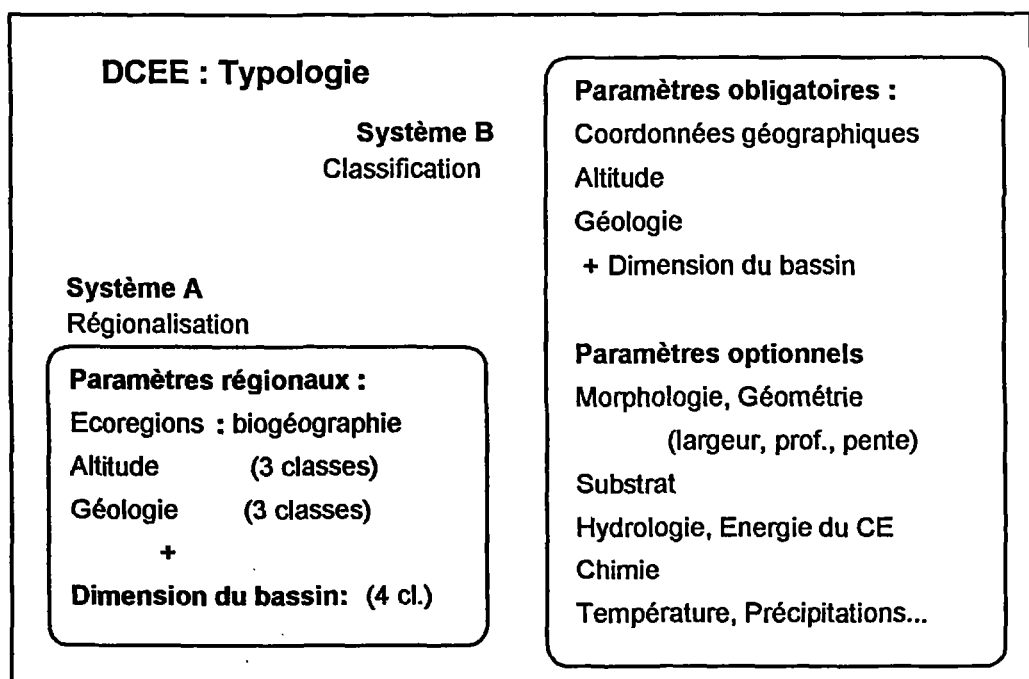


Figure 1 – Les deux systèmes typologiques proposés par la Directive Cadre

La DCEE (Annexe II) laisse le choix entre une approche régionalisée, mais basée sur une combinaison imposée de paramètres simples avec des limites figées (système A), ou un système de classification plus souple (système B), ouvrant la possibilité d'une modélisation, avec des paramètres obligatoires et optionnels et un choix ouvert dans les limites de classes (fig. 1). *Les deux systèmes s'appuient obligatoirement sur une base spatialisée couplée à une dimension du bassin.*

Le système A repose sur des bases conceptuelles saines, à savoir que la diversité des types d'écosystèmes d'eau courante provient à la fois des caractéristiques régionales et de la dimension des bassins versant. Cependant, les « écorégions » proposées sont inadaptées car ce sont des régions biogéographiques basées essentiellement sur les insectes aquatiques, sans lien fort avec le fonctionnement des écosystèmes d'eau courante. D'autre part le cadre rigide des classes prédéfinies conduit à des incohérences lorsque l'on croise les différents paramètres, ce qui aboutit à masquer les discontinuités naturelles de l'espace et à multiplier le nombre de types. L'essai d'application réalisé en France illustre bien ces inconvénients.

Toutefois, il nous a semblé qu'une approche à base « écorégionale » cohérente tenant compte des discontinuités naturelles majeures, présentait de nombreux avantages. Ceci nous a conduit à préconiser l'approche par « hydro-écorégions » précédemment testée sur le bassin de la Loire par le Cemagref en partenariat avec la Direction de l'Eau et l'Agence Loire-Bretagne (Wasson *et al.* 1993, Wasson 1996, Souchon *et al.* 2000). Cette régionalisation basée sur les déterminants primaires du fonctionnement des cours d'eaux conduit à isoler des régions homogènes en termes de processus physiques dominants, et aboutit à définir pour chaque région une « enveloppe de variabilité » des paramètres hydro-morphologiques, chimiques et biologiques à l'échelle du tronçon. Une telle approche est également plus facile à coupler avec la spatialisation des pressions anthropiques.

Ces hydro-écorégions (HER) seront couplées avec une ordination du réseau par rang de Strahler pour donner un cadre typologique « HER x Rang ». Cette typologie reprend la logique du système A, tout en étant plus cohérente et plus précise ; elle s'inscrit d'autre part sans difficulté dans le système B, car elle en utilise tous les paramètres obligatoires et intègre bon nombre de paramètres optionnels à l'échelle régionale.

Les hydro-écorégions : rappel du cadre conceptuel.

La démarche est basée sur une approche *descendante* dont le principe de base consiste à utiliser pour la classification les facteurs de contrôle globaux plutôt que leurs conséquences au niveau local. A l'échelle du bassin, les déterminants primaires universellement reconnus du fonctionnement écologique des cours d'eau sont la géologie, le relief et le climat. Ce concept s'inspire des théories de contrôle hiérarchique des hydrosystèmes, et repose particulièrement sur l'emboîtement des échelles physiques, du bassin jusqu'au micro-habitat.

On peut résumer comme suit l'enchaînement hiérarchique des facteurs qui déterminent le fonctionnement écologique des cours d'eau (fig. 2) : à l'échelle locale, dans le milieu aquatique, la biodiversité et la productivité des communautés vivantes répondent aux « facteurs-clés » que sont l'habitat physique (hydraulique, substrat), le climat aquatique (lumière, température, gaz dissous, hydrochimie), et les ressources trophiques (production primaire endogène et matière organique exogène) ; toutefois l'influence de l'habitat sur des paramètres essentiels (oxygénation, ressources trophiques) conduit à assigner un rôle prépondérant aux facteurs physiques. A l'échelle du tronçon, la dynamique spatio-temporelle des facteurs-clés dépend du régime hydro-sédimentologique et de la géomorphologie de la vallée ; ces « facteurs de contrôle » définissent la morpho-dynamique fluviale (forme et stabilité du lit), la structure de la végétation rivulaire (qui influe significativement sur le milieu aquatique), et la connectivité du cours d'eau (interactions avec la zone inondable). Finalement, à l'échelle régionale, ces facteurs dépendent de « déterminants primaires » que sont la géologie (nature des roches), le relief (géomorphologie) et le climat (températures et précipitations). Les sols et la végétation du bassin interviennent évidemment dans le bilan hydrique et sédimentologique, mais ils sont en dernier ressort déterminés par les caractéristiques géophysiques et climatiques.

Ce cadre conceptuel justifie une régionalisation des écosystèmes d'eau courante à partir des déterminants primaires géophysiques et climatiques, qui permettent de délimiter des « hydro-écorégions ». Les hypothèses de base sont les suivantes : 1) à l'intérieur d'une même région les cours d'eau présenteront des caractéristiques physiques et biologiques similaires et un même gradient d'évolution longitudinale, et 2) les écosystèmes d'eau courante de différentes régions devraient se distinguer sur au moins un paramètre abiotique important, conduisant à des différences significatives et quantifiables au niveau des peuplements. Ceci devrait permettre de définir un nombre limité de types d'écosystèmes dans chaque région.

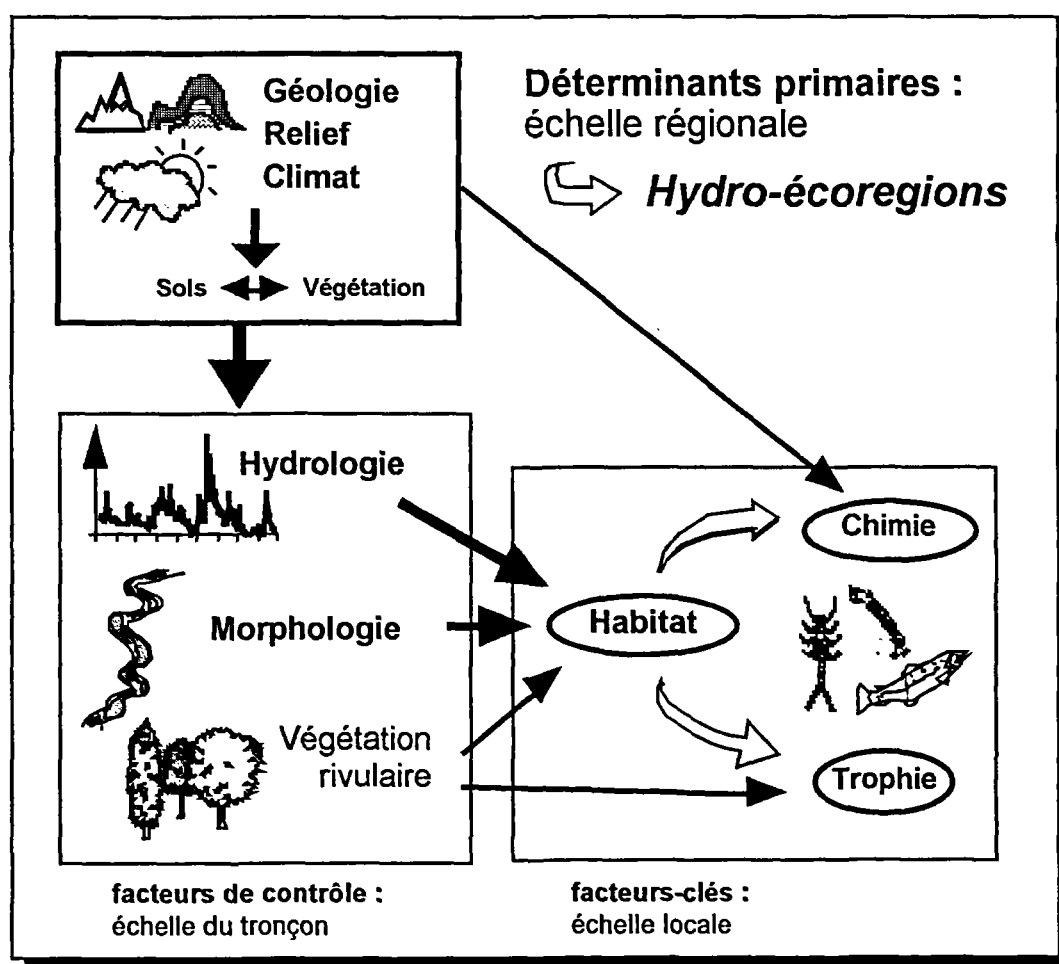


Figure 2 – *Cadre conceptuel de la régionalisation* : représentation schématique de l'emboîtement hiérarchique des facteurs de contrôle des écosystèmes d'eau courantes.

Rappel des principes méthodologiques

Des couches d'information spatialement homogènes sur les structures géophysiques et climatiques sont traitées par une approche géographique, au moyen d'un SIG. La délimitation des régions se fait visuellement, à partir d'une recherche des discontinuités naturelles de ces facteurs, et des concordances régionales de leur distribution.

Comme pour toute partition, le principe de base est de minimiser la variance intra-régionale et de maximiser les différences inter-régions. La cohérence de la partition est testée *a posteriori*, d'une part sur les paramètres qui ont servi à construire les régions, d'autre part sur des données totalement indépendantes recueillies à l'échelle locale.

Les points suivants peuvent être soulignés :

- Les données de base sont des caractéristiques physiques naturelles : géologie, géomorphologie, relief, climat (températures et précipitations). La végétation naturelle (potentielle), qui révèle la nature des roches et constitue un indicateur bioclimatique apporte également des informations complémentaires.
- Les paramètres utilisés ne sont pas affectés par l'anthropisation (sauf pour les dérives climatiques), ce qui est cohérent avec l'objectif de la DCEE, qui consiste à définir des conditions naturelles de référence par types.
- L'approche descendante permet de définir deux niveaux hiérarchiques : le niveau 1 (HER-1) correspond aux grandes structures géophysiques et climatiques, et le niveau 2 (HER-2) correspond à des variations régionales à l'intérieur de ces types, ou dans certains cas à des « exceptions typologiques » dans des ensembles par ailleurs beaucoup plus homogènes.
- Les cours d'eau intègrent rapidement l'hétérogénéité locale de leur bassin, ce qui justifie la délimitation de régions d'une taille suffisante, identifiables à une échelle de l'ordre du 1/1.000.000^{ème}. Il reste évidemment une hétérogénéité locale (à l'échelle des unités de paysage, de 1 à 100 km²) qui peut être considérée de manière statistique à l'intérieur des HER. A des échelles plus fines, l'hétérogénéité ne ressort plus de la régionalisation, mais doit être traitée par une analyse du linéaire
- Il existe des frontières naturelles (géomorphologiques et climatiques) relativement nettes, mais aussi des gradients pluviométriques et altitudinaux. Pour ces derniers, nous avons privilégié une régionalisation par « massifs » géomorphologiques avec l'hypothèse d'une évolution longitudinale prévisible des cours d'eau dans ces massifs.
- Cette méthode de régionalisation présente de fortes similitudes avec celle d'Omernick (1987) largement utilisée par l'US-EPA pour la définition des conditions de référence et la bioindication. Elle s'en distingue cependant par une analyse séparée des structures naturelles et anthropiques, et des améliorations techniques grâce notamment à l'utilisation de données numériques.

II - Méthodes de délimitation des hydro-écorégions

Préambule

Les données utilisées visent à décrire spatialement deux grands ensembles de facteurs :

- **La structure physique des bassins**, appréhendée à partir de :
 - La *géologie*, qui intervient au travers des caractéristiques lithologiques : résistance à l'érosion, perméabilité, propriétés chimiques des eaux qui en découlent.
 - Le *relief*, décrit par l'altitude, mais aussi la géomorphologie : pentes des terrains, des vallées, formes du relief.
 - L'*hydrographie* : la structure et l'organisation du réseau de drainage donne des informations complémentaires aux données géologiques (perméabilité, drainage phréatique).
- **Le climat qui s'exerce sur ces bassins**, en tant que déterminant de la quantité et de la variabilité des écoulements, mais aussi de la température, appréhendé par :
 - Le régime des *précipitations* : annuelles, saisonnières, écart saisonnier et maximum décennal sur 24 heures ;
 - Les *températures* maximales
 - Les types de *végétation* naturelle (potentielle) ou les étages bio-climatiques qui intègrent des informations sur les bilans hydriques et thermiques.
 - des informations complémentaires, notamment sur les surplus ou déficit hydriques, les glaciers...

II.1 - Données géographiques utilisées

Les données utilisées dans le cadre de cette étude sont essentiellement des couches d'informations géographiques, soient acquises par le *Cemagref*, soient mises à disposition pour les besoins de l'étude par l'IFEN dans le cadre de la convention entre le *Cemagref* et le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (anciennement de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement).

Celles ci sont détaillées dans le tableau ci dessous :

Données	Sources	Propriété
Géologie	Banque de données de la Carte géologique au 1/1 000 000ème (6 ^{ème} édition) BRGM 1996	Mise à disposition par l'IFEN
Relief	Modèle numérique de terrain (MNT) au pas de 250 m dérivé de la BDALTI® de l'IGN	Mise à disposition par l'IFEN
Climat	METEO FRANCE – Carte des moyennes mensuelles des précipitations pour la période 1961 – 1990 Calculées par la méthode AURHELY – maille 5 x 5 km	Mise à disposition par l'IFEN
Climat	METEO FRANCE ➤ carte des moyennes mensuelles des températures maximales et minimales pour la période 1961 – 1990 ; maille 1 x 1 km ➤ carte des précipitations sur 24 H sur une période de retour de dix ans maille 1 x 1 km	Acquisition par le <i>Cemagref</i>
Végétation	Carte des régions phyto-écologiques de Dupias et Rey (1980)	Mise à disposition par l'IFEN
Réseau hydrographique	©BDCARTHAGE V 2.4 de 1997 dérivée de la ©BDCARTO de l'IGN 1992	Mise à disposition par l'IFEN

Ces données ont été exploitées avec les logiciels Arcview® et Arcinfo®.

Autres documents utilisés :

L'utilisation de couches d'informations géographiques n'a pas exclu le recours aux cartes « imprimées », notamment :

- l'Atlas des Eaux souterraines de la France - DATAR – BRGM 1970 ;
- les cartes géomorphologiques de la France, coord. F. Joly - GIP RECLUS-1988,1987,1992,1993 ;
- la carte des surplus et déficits hydrologiques de la France, Trzpit 1984 (scannée et géoréférencée) ;
- certaines cartes de la végétation de la France au 1/200 000ème (CNRS), notamment pour le bassin du Rhône ;
- carte des glaciers (ZA Rhône 1996), Rogers et Wasson 1997;
- les cartes topographiques, touristiques, routières éditées par l'IGN.

II.2 - Le traitement des données géographiques

II.2.1 - Structure physique des bassins

Altitude

L'information du MNT 250 m a été utilisée sans transformation autre que la définition automatique ou supervisée de classes d'altitudes.

Pente

Une carte des pentes à l'échelle nationale, réalisée à partir du MNT 250 m a également été utilisée.

Relief « ombré » (hillshade)

Ce mode de transformation des données du MNT permet de visualiser les formes du relief et d'identifier les discontinuités existantes entre zones de morphologie différente.

Pentes des vallées

A partir du MNT, un réseau de drainage théorique a été reconstitué, et sur ce réseau, les pentes des tronçons ont été calculées. Le résultat permet de visualiser à grande échelle les valeurs dominantes de pentes de vallées, et facilite ainsi le contrôle de la discrimination opérée à partir des informations de relief utilisées ci-dessus.

Géologie

Les cartes existantes à l'échelle de la France métropolitaine constituent avant tout une description stratigraphique et structurale du sous sol. Elle ne renseignent pas directement la nature des roches, et ne sont donc pas immédiatement exploitables pour une spatialisation des caractéristiques des bassins versants.

Plusieurs sources de données complémentaires ont été utilisées pour rendre compte de l'influence de la lithologie sur le fonctionnement des écosystèmes aquatiques.

Nature des roches (lithologie)

La carte géologique du BRGM carte au 1/1.000.000^{ème} (sixième édition) a fait l'objet d'une analyse et d'un classement des polygones qui y sont représentés en fonction de la nature des roches identifiées à partir de documents cartographiques et de synthèses nationales existantes du BRGM, selon une classification simple, élaborée spécifiquement pour cette étude en vue de décrire l'influence de la géologie sur le fonctionnement des cours d'eau.

On trouvera en **annexe I** le détail des documents utilisés, les méthodes employées et les nécessaires précautions d'utilisation de ce travail.

NOTE : *une carte lithologique est en cours d'élaboration au BRGM sous la direction de Mr Lavielle ; les comparaisons avec les versions préliminaires de cette carte montrent une bonne concordance globale.*

Carte géomorphologique au 1/1 000 000^{ème}

Ce document (en quatre parties) a été édité par le GIP RECLUS Montpellier, publié avec le concours du CNRS sous la direction de Fernand JOLY dans la collection RECLUS Modes d'Emploi de 1988 à 1993.

Ces cartes individualisent des unités différenciées par leur style topographique, et secondairement par leur altitude ou leur matériel. Elles constituent un complément très utile et très efficace pour corriger les imperfections inhérentes à la carte lithologique élaborée dans le cadre de ce travail.

Densité du réseau hydrographique

Mise à disposition par l'IFEN dans le cadre de cette étude, la ©BD Carthage - acronyme de Base de Données de Cartographie Thématique des Agences de l'Eau –constitue le référentiel spatial commun à l'ensemble des organismes publics en charge de missions liées à la gestion de l'eau. Elle a été constituée à partir des fichiers numériques de la ® BD CARTO de l'Institut Géographique National saisis à l'échelle du 1/50.000^{ème}.

L'examen de la carte du réseau, issue directement de la ©BD Carthage, apporte un éclairage et un complément d'information quant à la nature des formations lithologiques, en particulier lorsque des formations superficielles mal renseignées sur les cartes géologiques viennent modifier la perméabilité des roches sous-jacentes. Un calcul de la densité de drainage (en km / km²) par maille carrée de 2,5 km a permis d'éditer une carte rendant l'information « densité du réseau hydrographique » plus directement lisible.

II.2.2 - Données climatiques

Précipitations annuelles moyennes

Cette carte résulte du cumul sur l'année des moyennes mensuelles de précipitations (période 1961 – 1990).

Précipitations saisonnières

Les valeurs mensuelles ont été cumulées par saison en groupant décembre, janvier, février pour l'hiver, mars, avril, mai pour le printemps, etc...

Cartes de saisonnalité

Trois cartes exprimant la saison de précipitation dominante et minimale, ainsi que l'écart de précipitation entre saison ont été dérivées des précédentes. Ces cartes se sont avérées pertinentes pour identifier les tendances de continentalité et surtout délimiter la région méditerranéenne au sens climatique.

Carte des régions phytoécologiques de Dupias et Rey (CNRS 1980)

Cette carte basée sur la distribution des associations phyto-écologiques naturelles découpe le territoire national en zones de quatre niveaux hiérarchiques différents. Ses premier et deuxième niveaux expriment les grandes structures géologiques et climatiques, à travers le filtre de la végétation terrestre. Cette carte a été utilisée comme trame de travail et en validation pour certains paramètres, avec toutefois une ré-interprétation approfondie pour une régionalisation des milieux aquatiques.

En **annexe 1, 2, 3 et 4** sont détaillées les informations techniques relatives à ces différentes données, leurs conditions d'utilisation, et les transformations dont elles ont fait l'objet par rapport aux données d'origine.

III - Les hydro-écorégions de France métropolitaine

III.1 - Principes de définition des hydro-écorégions.

III.1.1 - Méthode de délimitation

Le travail consiste à rechercher les concordances et les discontinuités géographiques dans la distribution spatiale des déterminants listés au point précédent.

Ce travail est réalisé à deux niveaux. Dans un premier temps sont identifiées les grandes structures correspondant à des changements importants d'au moins un paramètre fondamental, géophysique ou climatique qui constituent les hydro-écorégions de niveau 1 (HER-1). Puis on cherche à identifier des polygones à l'intérieur desquels les différents paramètres peuvent être considérés comme homogènes, au regard de l'hétérogénéité globale du territoire national. Ces polygones constituent les plus petites entités régionales identifiables à cette échelle, et constituent les hydro-écorégions de niveau 2 (HER-2).

Dans la pratique, ces deux phases sont réalisées simultanément par un aller-retour permanent entre les deux niveaux visant à homogénéiser et optimiser la classification ; le critère de choix est toujours le même : est-ce que les variations observées des paramètres typologiques sont susceptibles de générer des différences importantes (niveau 1) ou significatives (niveau 2) dans l'organisation fonctionnelle des écosystèmes d'eau courantes, vus à travers leurs composantes physiques, chimiques et biologiques.

III.1.2 - Principes de classification des hydro-écorégions

Dans cette approche, les déterminants sont pris en compte à des niveaux hiérarchiques différents en fonction de l'intensité attendue de leur contrôle sur le fonctionnement des écosystèmes aquatiques. Un bon exemple en est fourni par la hiérarchisation relative des facteurs climatiques, géologiques et altitudinaux :

En climat méditerranéen, l'intensité du stress généré par la sécheresse estivale et les températures élevées conduisent à considérer ce type de climat comme le facteur prépondérant pour le fonctionnement des biocénoses. Les différences géologiques (granites – calcaires) apparaissent à un niveau secondaire. Le climat cévenol caractérisé par ses précipitations violentes en automne (identifié par la pluie maximale journalière décennale) constitue une variante régionalement bien délimitée du climat méditerranéen, avec des conséquences très structurantes sur les habitats et les peuplements. Donc en zone méditerranéenne, les HER sont délimitées d'abord sur les variables climatiques.

En revanche, sous un climat atlantique ou à tendance plus ou moins continentale, le stress hydrique est généralement moins limitant, ou dépend alors fortement des caractéristiques géologiques et géomorphologiques. La géologie et le relief s'élèvent alors au rang de facteurs dominants pour le fonctionnement des milieux, de bons exemples étant fournis dans le centre et l'ouest de la France par l'opposition entre les massifs granitiques (Armoricaïn, Limousin) et les tables calcaires du bassin parisien. Le relief, modéré, distingue également des régions de plaines ou plus ou moins accidentées. Les précipitations sont fortement dépendantes du relief, et la prépondérance accordée aux critères géologiques et géomorphologiques aboutit finalement à une bonne discrimination des ensembles climatiques.

Dernier exemple, les régions de hautes montagnes, caractérisées par le fait d'avoir une grande partie de leur territoire en zone subalpine et alpine, donc une hydrologie très marquée par la neige, voire les glaciers, et de fortes pentes de versants. Ici, la composante géologique, souvent très hétérogène, s'estompe au regard du facteur hydrologique, et l'altitude intervient moins en tant que telle que

comme une caractéristique globale du massif lui-même. On verra plus loin que, paradoxalement, les biocénoses y varient très peu en fonction de l'altitude du site.

En résumé, et c'est là une caractéristique essentielle de notre approche, il n'y a pas de hiérarchie figée des différents déterminants utilisés. Chaque facteur est interprété en fonction du contexte géophysique et climatique régional. C'est la raison pour laquelle nous avons utilisé une approche de type « géographique » pour délimiter visuellement les régions, et non une classification automatique, car il nous semblait extrêmement difficile d'introduire dans un algorithme de classification cette notion essentielle de hiérarchisation variable d'un facteur en fonction du contexte des autres paramètres.

Néanmoins, cette logique de classification existe implicitement, et peut être reconstituée *a posteriori* par le schéma logique ci-dessous, qui s'apparente plus à un « arbre de décision » qu'à un algorithme de classification hiérarchique.

III.2 - Les hydro-écorégions de niveau 1

III.2.1 - Classification des HER-1

Selon ces principes, le premier niveau de classification hiérarchique conduit à séparer :

- Les zones de **climat de type méditerranéen** (fig. 3.1), dans lesquels nous distinguerons en fonction du relief :
 - *la région Méditerranéenne* de plaines et de collines,
 puis des zones de montagne :
 - *la région des Cévennes*, bordure sud-est du Massif Central, granitique, aux précipitations automnales particulièrement violentes.
 - *les Préalpes du sud*, montagnes plus ou moins calcaires en climat subméditerranéen ,
 - *la Corse*, granitique, aux caractéristiques particulières liées à son insularité,

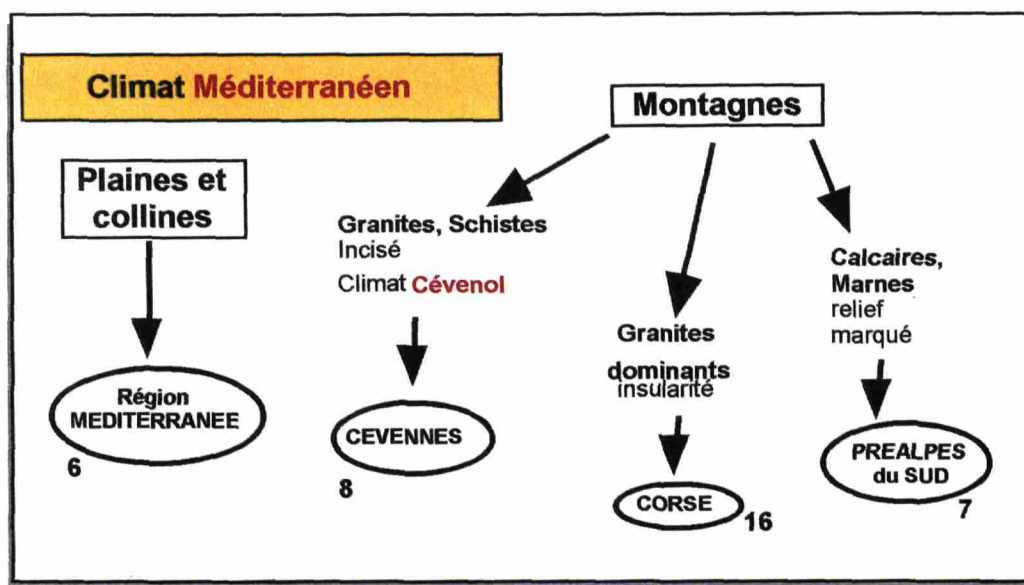


Figure 3. 1- Classification des hydro-écorégions en climat méditerranéen

Dans les zones de **climat non méditerranéen**, les facteurs physiques deviennent prépondérants. Ils conduisent à distinguer en premier lieu les régions de plaines et collines des massifs montagneux :

➤ Les **plaines et collines** (fig. 3.2), sont caractérisées par un relief plat ou peu accentué, entrecoupé parfois de côtes marquées ; les altitudes sont toujours inférieures à 450 mètres (altitude non dépassée pour au moins 95% de la superficie de chaque région)⁽¹⁾. On distingue différentes HER en fonction d'abord de la géologie, de type calcaire ou non, puis de caractéristiques géomorphologiques et climatiques :

- Pour les sous sols **non calcaires** :
 - ♦ en *climat atlantique*, selon la géologie et la géomorphologie
 - Molasses, argiles, ondulé : **les Coteaux Aquitains**,
 - Sables, plaine : **les Landes**,
 - Granites, schistes, ondulé : **le Massif Armoricaïn**
 - ♦ en climat à *tendance continentale*,
 - plaine argilo-limoneuse : **la Plaine de Saône**
 - schistes, ondulé, léger relief : **les Ardennes**
- Sur des sous-sols **calcaires** :
 - ♦ les *côtes et plateaux* qui, selon le climat dominant donnent :
 - en climat *atlantique* : **les Causses Aquitains**,
 - en climat à *tendance continentale* : **les Côtes calcaires de l'est**
 - ♦ dans les *plaines* :
 - *calcaires tabulaires affleurant*, ou recouverts d'un placage superficiel d'argiles à silex assez mince : **les Tables Calcaires**
 - calcaires sous-jacents recouverts d'épandages argilo-sableux imperméables, épais et continus : **les Dépôts Argilo-sableux**

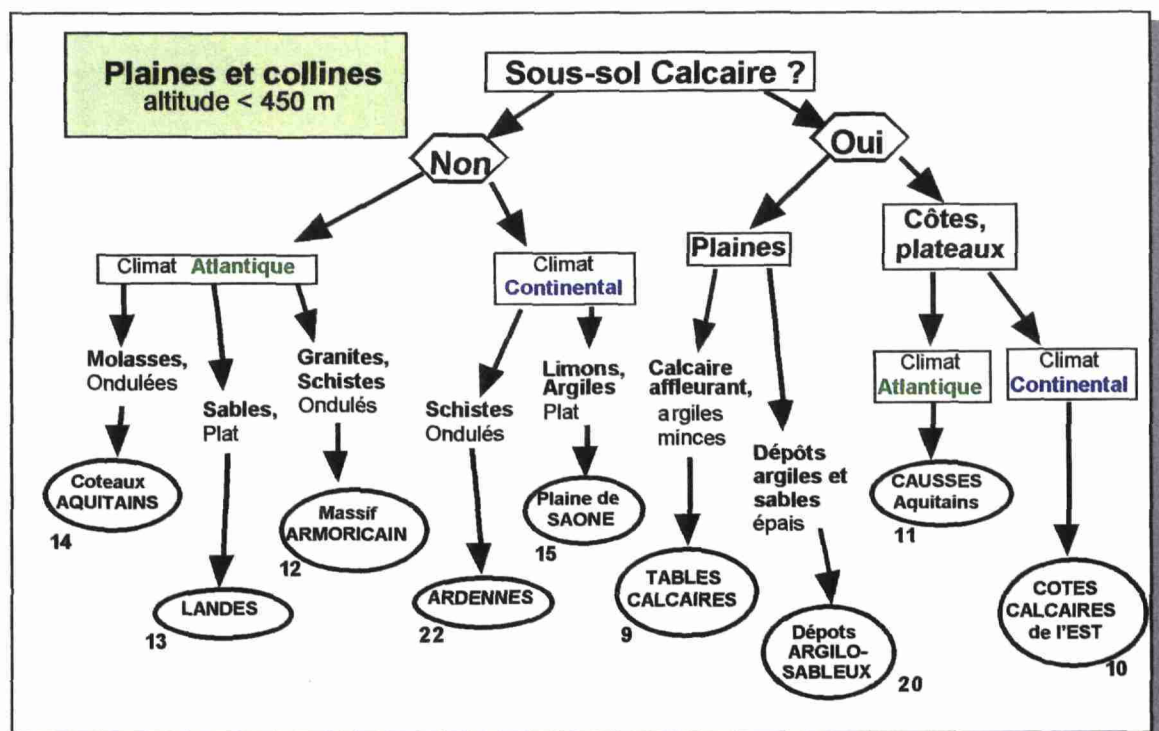


Figure 3. 2 - Classification des hydro-écorégions de « plaines et collines »

¹ Pour la région Méditerranéenne de « plaines et collines », l'altitude atteint 600m, ce qui se justifie par un climat plus chaud.

- Les **massifs montagneux** ont des altitudes minimales supérieures à 200 m (non dépassée pour moins de 5% de la région) ⁽²⁾, et les maximales atteignent au moins 750 m (dépassée pour au moins 5% de la région). Un premier critère de différenciation concerne l'importance relative de l'étage alpin, assimilé ici à des zones d'altitude supérieure à 1800 m, qui caractérise les massifs de hautes montagnes (fig. 3.3).

- **Hautes Montagnes**, étage Alpin important (>10%):
 - ◆ en climat *atlantique* dominant : **les Pyrénées**
 - ◆ en climat à tendance *continentale*, étage alpin dominant (> 50%), glaciers importants:

les Alpes internes

- Dans les **moyennes montagnes**, sans étage alpin, selon la géologie,
 - ◆ Roches **carbonatées** dominantes **Jura et Préalpes du nord**
 - ◆ Roches **granitiques** dominantes ,
 - en climat *atlantique* : **Massif Central**
 - en climat à tendance *continentale* : **Vosges**

Ces deux derniers massifs présentent encore une certaine hétérogénéité géologique ou géomorphologique qui mérite une différenciation au niveau HER-1. Tout d'abord, de grandes *dépressions tectoniques*, plates et remplies de sédiments tertiaires viennent fracturer ces massifs et constituent des unités bien délimitées, avec une tendance climatique nettement continentale :

- *dépressions tectoniques* à tendance continentale associées aux massifs anciens :
 - associée aux Vosges (et à la Forêt noire) : **la plaine d'Alsace**
 - associée au Massif Central (Limagnes): **les Dépressions sédimentaires**

le **Massif Central** est assez complexe du point de vue géologique et géomorphologique. La partie nord, correspondant au plateau du Limousin et au Morvan, présente un relief nettement moins accidenté que la partie sud ; les altitudes, les pentes des versants et des thalwegs sont sensiblement plus faibles, ce qui conduit à différencier deux HER-1. D'autre part, si la dominante granitique du massif est évidente, il existe aussi des zones volcaniques et calcaires. Les régions volcaniques n'ont pas été différenciées au niveau HER-1, car elles n'induisent pas a priori de différence très marquée au niveau du fonctionnement des cours d'eau ⁽³⁾. En revanche nous isolerons le plateau calcaire des Grands Causses. Ce qui donne pour le Massif Central :

- ◆ **Calcaires** massif : **Grands Causses**
- ◆ Roches **granitiques** ou **volcaniques**,
 - *Relief vallonné*, (plateau avec gorges), altitudes < 700m et pentes des terrains < 8 % sur plus de 90% de la région : **Massif Central nord**
 - *Relief accidenté*, (montagnes, vallées incisées, plateau), altitude > 700 m et pente des terrains > 8 % sur plus de 50 % de la région : **Massif Central sud**

Remarque :

La région **Jura – Préalpes du nord** a été modifiée par rapport à la version préliminaire de la carte des HER-1 diffusée en janvier 2002. Nous avons regroupé dans cette région trois ensembles qui avaient été différenciés lors d'un premier travail sur la régionalisation du bassin du Rhône (Wasson & Rogers, 1997). Le massif du Jura et l'ensemble des chaînons calcaires qui constituent les Préalpes du nord

² Sauf en Corse, considérée dans son ensemble comme une « montagne » méditerranéenne.

³ à l'exception des cônes cinéritiques aux propriétés hydrogéologiques particulières, parfois aréiques.

proprement dites (Aravis, Chartreuse, Bauges, Vercors) présentent de grandes similitudes géologiques, géomorphologiques et climatiques. Mais ces deux régions sont séparées par une vaste dépression (piedmont Alpes-Jura), traversée par le haut-Rhône, et qui se prolonge au sud-ouest par les collines du Bas-Dauphiné (plateau de Chambaran). Cet ensemble est nettement plus hétérogène et présente des caractéristiques assez différentes des massifs calcaires qui l'entourent : relief plus collinaire, alternance de chaînons calcaires et de collines molassiques, plaines d'alluvions fluviales grossières. Nous avons finalement opté, dans un souci de simplification, pour un regroupement de cette région de piedmont avec les massifs calcaires en raison des solidarités hydrographiques (la plupart des cours d'eau prennent naissance dans les massifs calcaires), et de l'absence de frontière géologique ou géomorphologique bien marquée, sachant que le contexte climatique reste le même, aux influences près de l'altitude.

Toutefois, la région des collines du Bas-Dauphiné (HER-2 : 85) reste atypique dans cet ensemble. Nous l'avons rattachée à la plaine de Saône dans la carte préliminaire, sur une base plutôt géologique. Son appartenance à un ensemble pré-alpin apparaît cependant plus logique, sur les critères géomorphologiques et climatiques, mais il faudra garder en mémoire la particularité de cette région.

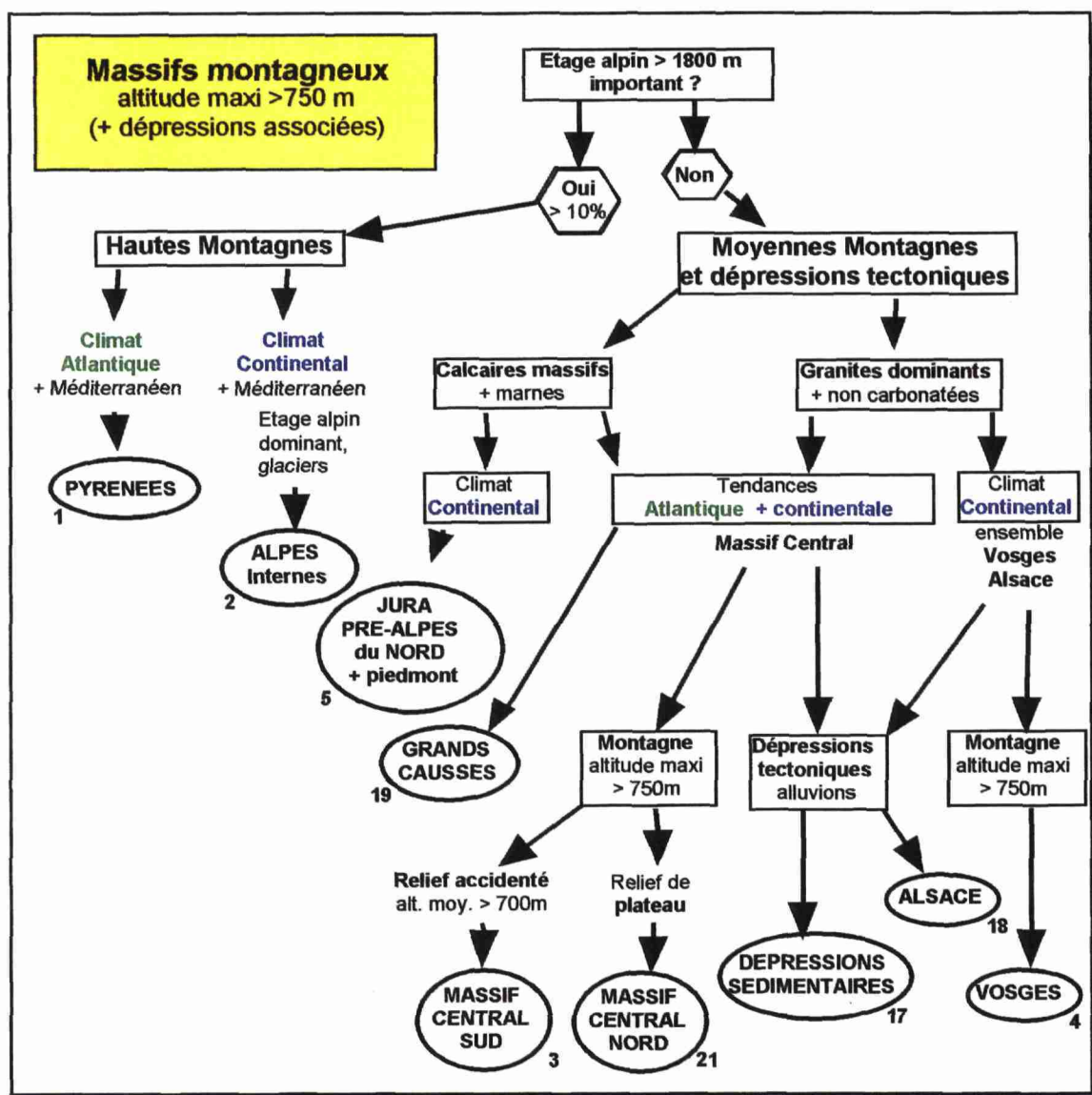


Figure 3. 3 - Classification des hydro-écorégions « massifs montagneux »

III.2.2 - Cartographie des HER-1

Au total, ce premier niveau de régionalisation nous amène à considérer 22 entités de taille variable et de nature différentes, constituant un premier « filtre » typologique des cours d'eau.

Leur délimitation est effectuée à partir de la superposition des différentes données géographiques disponibles décrites en annexes. Le dessin des limites des régions a été réalisé, en fonction du critère retenu, d'après la couche d'information géographique pertinente.

Le résultat principal est la carte ci-dessous (fig. 3.4), dont la validité et la précision se réfère à l'échelle du 1/1 000 000^{ème} ; elle est disponible sous un format compatible avec la plupart des logiciels de Systèmes d'Information Géographique.



Figure 3. 4 - Carte des hydro-écorégions de niveau 1 de la France métropolitaine

III.2.3 - Description qualitative des hydro-écorégions de premier niveau

Les caractéristiques dominantes de ces régions sont directement issues du résultat de la classification ci-dessus ; il apparaît toutefois utile de les rappeler de manière synthétique.

Le Massif Armoricain se distingue par ses roches primaires dures, imperméables et non carbonatées, un relief de collines peu accentué, et un climat océanique.

Les Tables Calcaires constituent une région de plaine, d'altitude inférieure à 200 m, couvrant le bassin parisien et le nord du bassin aquitain ; le sous-sol est formé de roches sédimentaires tabulaires en majorité carbonatées. Cependant, ces roches présentent en superficie des caractéristiques variables de perméabilité induisant des différences dans la densité du réseau de drainage, ou des différences de dureté et de résistance à l'érosion produisant localement des formes de reliefs plus marquées (côtes et collines).

Les Dépôts Argilo-sableux, entités incluses dans les Tables calcaires, correspondent à des formations géologiques bien individualisées imperméables, non carbonatées et meubles, caractérisées par un relief plat.

Les Côtes calcaires de l'est se différencient des Tables Calcaires par un relief de côtes disposées en auréoles concentriques à l'est du bassin parisien, dû à l'alternance des couches sédimentaires de marnes et de calcaires durs. Les reliefs plus marqués s'échelonnent entre 200 et 400 m, et les formes plus hétérogènes entre plaines argileuses humides et plateaux calcaires à vallées sèches. Le gradient climatique d'ouest en est se manifeste par des précipitations sensiblement plus abondantes.

Les Vosges, sur le rebord oriental du Bassin Parisien, forment un massif montagneux composé de roches non carbonatées, peu perméables et assez résistantes à l'érosion. Le relief, accentué, culmine à 1 800 m et le climat est froid et humide.

L'Alsace, dépression tectonique entre Vosges et Forêt Noire, est une grande zone de plaine, aux sous-sols à dominante alluvionnaire. Le climat y possède des caractéristiques nettement continentales (hiver froid et sec, saison estivale arrosée).

Les Ardennes, plus au nord, constituent une région de collines, composée de roches primaires imperméables et non carbonatées ; seule l'extrémité sud-ouest de ce massif ancien concerne la France.

Le nord du Massif Central, (plateau du Limousin, montagne Bourbonnaise, Morvan) est constitué de reliefs de plateaux descendant en pentes peu accentuées vers le nord, dominés par les roches granitiques, dures, imperméables et non carbonatées. Les précipitations plus abondantes sont influencées par le relief.

Le sud du Massif Central, au relief plus accidenté et plus élevé, est constitué d'un grand plateau granitique relevé vers le sud, surmonté de reliefs d'origine volcanique ; il est pénétré au nord par des grandes dépressions orientées nord-sud et entouré au sud par de grands plateaux calcaires. Les précipitations y sont abondantes et le climat froid et humide.

Les Dépressions Sédimentaires sont des fossés tectoniques remplis de roches sédimentaires, qui constituent des zones de plaines internes du Massif Central. Les tendances continentales du climat se révèlent assez proches de celles de la plaine d'Alsace.

Les Grands Causses, plateaux calcaires au relief assez élevé (jusqu'à 1 250 m) situées au sud du Massif Central, possèdent les caractéristiques de zones karstiques avec un réseau hydrographique peu dense, limité aux fond de vallées, exutoires hydrauliques de ces massifs perméables.

La Plaine de Saône, entourée par le Massif Central à l'ouest, les Vosges au nord et le Jura à l'est, constitue une vaste dépression aux sous sols à dominante marno-argileuse.

L'ensemble **Jura – Préalpes du nord**, auquel sont associées les dépressions molassiques et les **collines du Bas Dauphiné**, constitue une entité au relief accentué, aux sous sols hétérogènes à dominante de calcaires massifs et de roches carbonatées, et au climat montagnard très humide à tendance continentale.

Les Alpes internes sont un massif au relief extrêmement accentué, caractérisé par l'importance de l'étage alpin, avec une géologie hétérogène mais peu carbonatée, et un climat typiquement montagnard à tendance continentale marquée.

Les Préalpes du sud, montagnes alternant massifs calcaires et ensembles marneux, ont un climat sous influence méditerranéenne se traduisant notamment par un bilan hydrique plus faible.

La Région Méditerranéenne, au relief de plaines et de collines, est caractérisée par son climat très chaud à sécheresse estivale prolongée ; la géologie est très hétérogène, variant de la plaine alluvionnaire aux massifs granitiques en passant par des collines de calcaires massifs.

Les Cévennes, sur la bordure sud-est du Massif Central, sont une région de montagne granitique au relief abrupt tourné vers la plaine méditerranéenne, qui se différencie par son régime de précipitations abondantes et particulièrement à l'automne.

La Corse, île méditerranéenne aux montagnes dominées par les roches granitiques, avec un régime de précipitations proche du type cévenol, possède des caractéristiques particulières liées à son insularité.

Au sud-ouest, les **Coteaux Aquitains**, région de collines incisées des vallées parfois très larges pour les principaux émissaires, bénéficient d'un climat océanique. Les roches à dominante peu carbonatées y sont globalement assez sensibles à l'érosion.

En bordure sud-ouest du Massif Central, les **Causses Aquitains**, plateaux et collines calcaires, se différencient par la nature du sous sol et des formes de relief caractéristiques, où le réseau hydrographique est de faible densité.

La région des **Landes**, connue par son sous-sol sableux dont la nappe libre est drainée par les rivières, ruisseaux et canaux artificiels, est une grande plaine au climat océanique.

La région des **Pyrénées**, massif montagneux au relief très accentué, diffère des Alpes internes par des altitudes moins élevées (étage alpin nettement moins important, très peu de glaciers), et une structure géomorphologique avec des vallées perpendiculaires à l'axe du massif, donc très courtes (moins de 40 km pour les cours d'eau les plus importants). Le climat est océanique avec une frange méditerranéenne à l'est.

III.2.4 - Caractérisation quantitative des hydro-écorégions de premier niveau

III.2.4.1 - Géologie

Les informations dérivées de la carte géologique au 1/1 000 000^{ème} du BRGM (cf annexe 1) ont fait l'objet d'un traitement permettant d'obtenir, par hydroécorégion de premier niveau, la répartition en différentes natures de roche résultant de la classification proposée.

A chaque type de roches sont associées des variables relatives à la perméabilité, à la résistance à l'érosion, et à la nature chimique des eaux de ruissellement.

Une analyse en composante principale (ACP normée) a été réalisée en utilisant ces variables d'identifier des groupes d'hydro-écorégions aux caractéristiques géologiques proches.

Les résultats sont directement visibles sur les figures ci-dessous (figure 3. 5 et 3.6), les deux premiers axes de l'analyse expliquent respectivement 52 % et 29 % de l'inertie totale.

L'examen de la figure 3.6 permet d'identifier trois groupes de régions bien distinctes, la région « Méditerranée » occupe une position à part.

La répartition des variables en proportion de la surface peut être représentée par la série de graphiques suivant, qui permettent d'observer les différences et similitudes entre hydro-écorégions (fig 3.7).

-Les caractéristiques propres de chacun des groupes de régions figurent dans le tableau ci dessous qui constitue une « synthèse » des caractéristiques géologiques des hydro-écorégions de premier niveau.

	Groupe 1 <i>Roches meubles</i> Alsace Plaine de Saône Coteaux aquitains Landes Dépôts argilo sableux Dépressions sédimentaires	Groupe 2 <i>Roches calcaires</i> Jura - Préalpes du nord Causses aquitains Tables calcaires Côtes calcaire est Grands Causses Préalpes du sud	Groupe 3 <i>Roches dures</i> Massif central nord Massif central sud Armoricaïn Ardennes Cévennes Pyrénées Alpes internes Vosges
Roches résistantes	< 10 % de la surface		> 80 % ou > 85 %
Roches hétérogènes			
Roches cohérentes tendres			
Roches meubles	de 35 % à 95 %	<30% de la surface	
Roches imperméables			> 85 %
Roches peu perméables			Sauf Vosges 100%
Roches perméables à interstices			
Roches perméables à fissures		> 25 % de la surface	
Densité de drainage		< 0,75 km/km2 sauf Préalpes du sud	
Roches carbonatées		> 25 % de la surface	
Roches peu carbonatées		et > 80 %	
Faible charge ionique			
Présence de gypse variable			

Tableau 3. 1 - Caractéristiques lithologiques des groupes d'hydro-écorégions identifiées à partir de l'ACP normée sur les variables géologiques.

Le premier groupe est constitué de dépressions tectoniques et de formations détritiques caractérisées par une quasi-absence de roches résistantes et la dominance de roches meubles.

Le deuxième groupe rassemble les régions de plaine et de moyenne montagne qui présentent entre 25% et 90% de leur superficie en calcaire généralement fissuré, avec une dominance de roches plus ou moins carbonatées. Les densités de drainage sont faibles, sauf dans les Préalpes du sud en raison d'une lithologie particulière (calcaires marneux) associée à un climat de type sub-méditerranéen.

Enfin le troisième groupe correspond aux massifs montagneux ou hercyniens caractérisés par la dominance de roches résistantes ou hétérogènes, non ou peu perméables (ou perméables à interstices pour le grès vosgien).

La région méditerranéenne, définie et délimitée sur un critère climatique, contient ces trois types de formations géologiques en proportions équilibrées.

En conclusion, il apparaît donc possible d'illustrer en termes simplifiés les caractéristiques géologiques des hydro-écorégions de premier niveau.

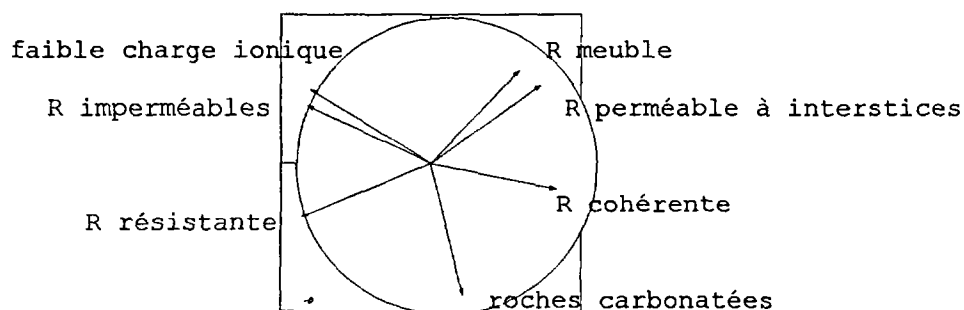


Figure 3.5 - Analyse en composantes principales (ACP normée) des HER1 à partir des variables géologiques
Cercle de corrélation des variables géologiques

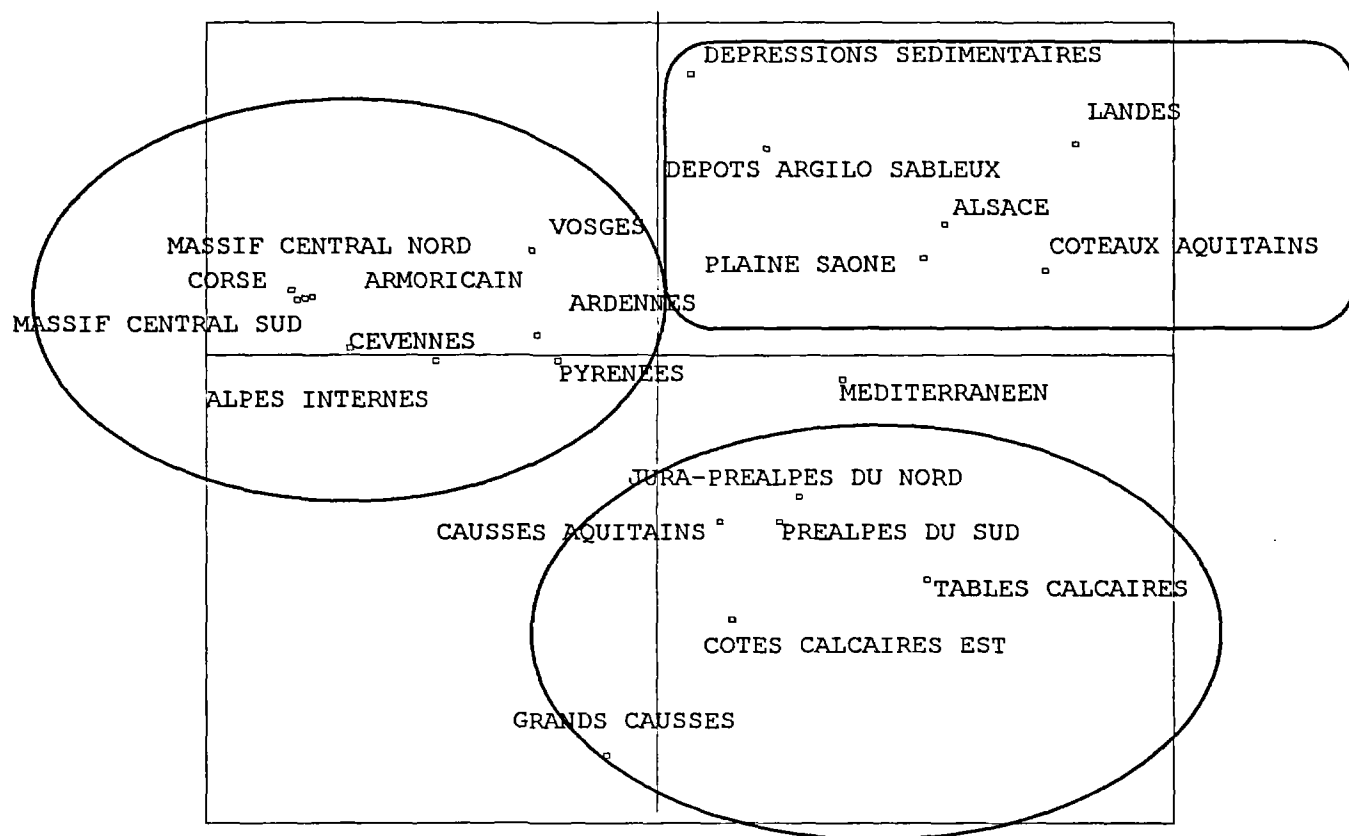
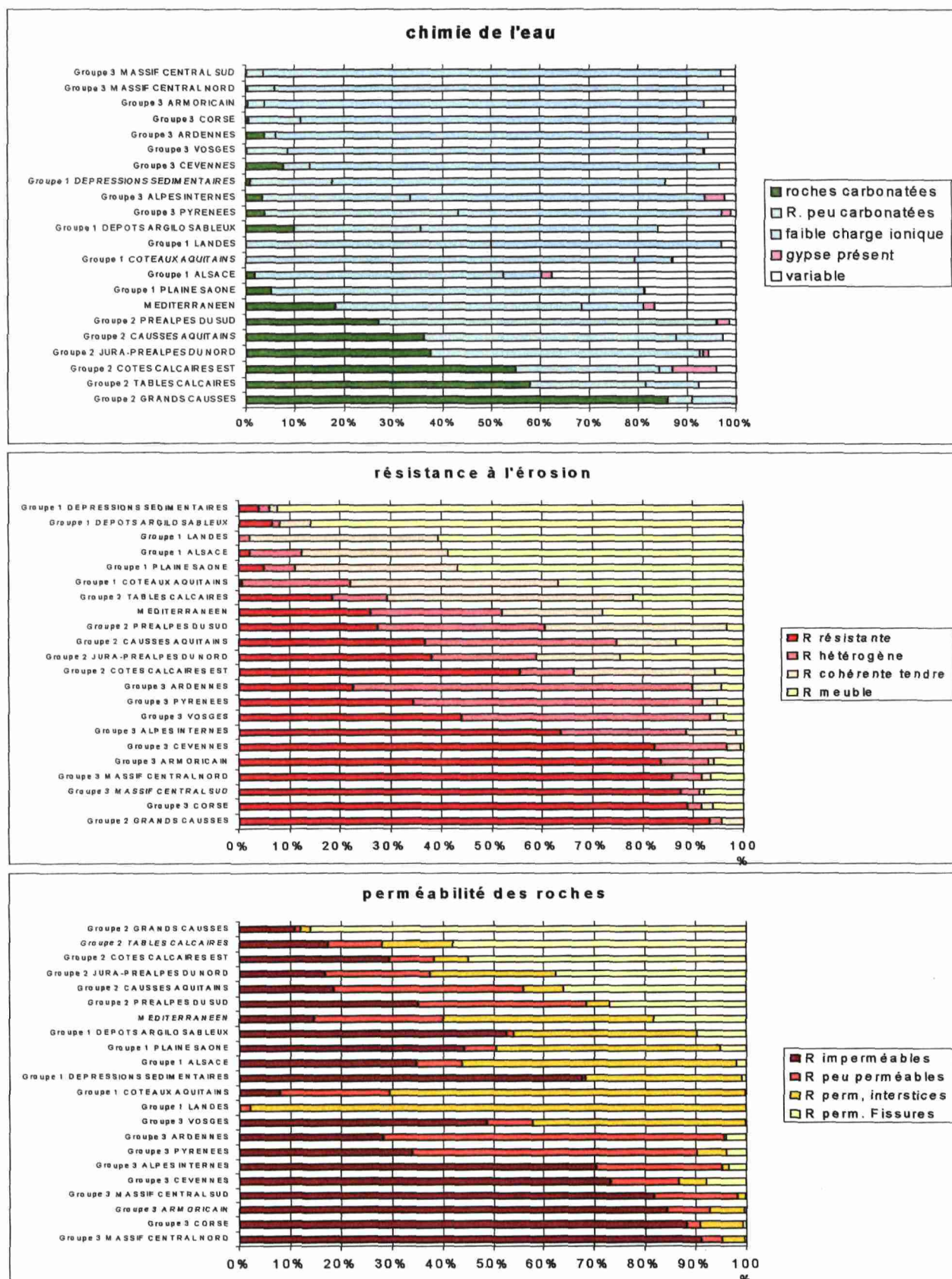


Figure 3.6 - Plan factoriel de l'ACP des HER-1 en fonction des variables géologiques



III.2.4.2 – Relief

Pour caractériser le relief de manière simplifiée, nous avons utilisé trois variables : l'altitude, la pente des terrains et la pente des thalwegs. Ces variables ont été réparties en classes en tenant compte de l'hétérogénéité interne des régions, à partir de la distribution des valeurs par HER-1 ; pour cela, nous avons utilisé les percentiles 10%, 50% (médiane) et 90%. Les classes ont été établies pour discriminer au mieux les groupes de HER-1 en fonction des discontinuités qui apparaissent dans les distributions des paramètres.

Elles combinent avec des opérateurs logiques (ET / OU) les valeurs des médianes et des extrêmes. Les limites de classes ont parfois été arrondies à quelques mètres près.

Pour établir ces classes, nous avons tenu compte du fait que le relief de la France présente à l'échelle de l'Europe un maximum d'hétérogénéité ; le nombre de classes est donc adapté à une échelle européenne. Nous avons donc utilisé 5 ou 6 classes par variable, en distinguant en outre deux sous-classes pour les plus faibles valeurs afin de discriminer les plaines des reliefs collinaires ; elles sont définies dans les tableaux 3.2 à 3.4 ci-dessous.

Classe	Alt. 10%		Alt. 50%		Alt. 90%
1a	< 50	ET	< 150	ET	< 200
1b	< 50	ET	< 200	ET	< 500
2	> 100	ET	200 - 300	ET	<400
3	> 200	ET	350 - 500	ET	650 - 850
4	> 250	OU	450 - 1000	ET	950 - 1500
5			1000 - 1500	ET	> 1800
6			> 1800	ET	> 2500

Tableau 3.2 - Classes d'altitude en mètres

Classe	Pente 10%		Pente 50%		Pente 90%
1a	< 0,2	ET	0,4 – 1,2		
1b	0,3 – 0,6	ET	1,5 – 2,5		
2	0,5 - 2	ET	3 - 5	ET	8 - 20
3	1 - 3		7 - 11	ET	20 - 40
4	> 4		15 - 25	ET	30 - 50
5	> 5		25 - 40		> 50

Tableau 3.3 - Classes de pente des terrains en %

Classe	Thalw. 50%		Thalw. 90%
1a	0,15 – 0,3	OU	< 1
1b	0,3 – 0,5	ET	1 – 1,5
2	0,3 - 1	ET	1,5 - 3
3	1 - 1,5		3 - 6
4	1,5 - 3	ET	4,5 - 8
5	3,5 - 5		10 - 15
6	>8		> 18

Tableau 3.4 - Classes de pente des thalweg en %

Sur la base de cette classification, les caractéristiques des HER-1 sont visualisées dans le tableau 3.5. Les régions sont classées en fonction d'un relief de plus en plus marqué.

ID	HER	Altitude	Pentes	Thalweg
13	LANDES	1a	1a	1a
20	DEPOTS ARGILLO SABLEUX	1a	1a	1a
18	ALSACE	2	1a	1a
15	PLAINE SAONE	2	1a	1a
9	TABLES CALCAIRES	1a	1b	1a
12	ARMORICAIN	1a	1b	1b
17	DEPRESSIONS SEDIMENTAIRES	2	1b	1a
14	COTEAUX AQUITAINS	1b	2	1b
10	COTES CALCAIRES EST	2	2	1b
6	MEDITERRANEEN	1b	2	2
11	CAUSSES AQUITAINS	2	2	2
22	ARDENNES	2	2	2
21	MASSIF CENTRAL NORD	3	2	2
4	VOSGES	3	3	3
5	JURA-PREALPES DU NORD	4	3	3
3	MASSIF CENTRAL SUD	4	3	4
19	GRANDS CAUSSES	4	3	4
8	CEVENNES	4	4	4
7	PREALPES DU SUD	4	4	4
16	CORSE	4	4	5
1	PYRENEES	5	5	5
2	ALPES INTERNES	6	5	6

Tableau 3.5 – Synthèse des caractéristiques de relief des hydro-écorégions de niveau 1

On retrouve bien du haut en bas de ce tableau 4 types de relief : (1) les plaines et dépressions plus ou moins ondulées, (2) les coteaux et collines, (3) les moyennes montagnes et (4) les hautes montagnes. Le Massif Central nord classé en montagne sur le critère d'altitude, apparaît en position intermédiaire entre les groupes 2 et 3.

III.2.4.3 - Climat

Nous avons procédé de la même manière pour classer les HER-1 à partir de 4 variables climatiques : les précipitations annuelles, les précipitations maximales journalières décennales, l'écart saisonnier des précipitations et la température maximale moyenne de juillet.

Pour définir le nombre de classes, nous avons là aussi tenu compte de l'étendue possible des variations du paramètre concerné à l'échelle de l'Europe ; ceci nous amène à 4 classes pour la température, les précipitations annuelles et l'écart saisonnier, mais à 5 classes pour les précipitations maximales sur 24 heures car le climat cévenol entre dans une catégorie extrême pour ce paramètre.

Ces classes sont définies dans les tableaux 3.6 à 3.9 ci dessous

Classe	Pluie 10%		Pluie 50%	Pluie 90%
1	> 550	ET	650 - 800	< 1000
2	> 650 ⁽¹⁾	ET	800 - 1000	< 1200
3	> 700	ET	1000 - 1150	1300 - 1600
4	> 4	ET	1150 - 1350	> 1650

Tableau 3.6 - Classes de précipitations moyennes annuelles en mm. ⁽¹⁾ *excepté la Corse*

Classe	Max 24h - 50%		Max 24h - 90%
1	< 55	ET	< 65
2	55 - 70	ET	< 80
3	65 - 90	ET	80 - 130
4	100 - 120	ET	> 140
5	> 160	ET	> 200

Tableau 3.7 - Classes de précipitations maximales journalières décennales en mm.

Classe	Ecart 10%		Ecart 50%		Ecart 90%
1	< 0,5	ET	< 0,65	ET	< 0,9
2	> 0,5	ET	0,65 - 0,8		0,9 - 1,2
3	-		-		-
4	> 0,9	ET	> 1,3		> 1,5

Tableau 3.8 - Classes de l'écart saisonnier des précipitations ((saison max – saison min) / moyenne annuelle), la classe 3 n'est pas représentée en France mais pourrait exister en Europe.

Classe	Juillet 50%
1	< 21
2	23 - 25
3	25 - 27
4	> 27,5

Tableau 3.9 - Classes de températures maximales moyennes de juillet en °C.

Seule la médiane est utilisée car l'étendue des variations régionales est fortement liée à la gamme d'altitude.

Essai de synthèse des caractéristiques climatiques

Le tableau 3.10 ci-dessous visualise ces différentes classes de paramètres climatiques pour les HER-1. L'effet de mosaïque qui s'en dégage correspond bien à une réalité du territoire français, soumis à des influences climatiques méditerranéennes, océaniques et continentales, compliquées par l'effet d'un relief très varié. Néanmoins, nous avons essayé de faire ressortir 4 grands ensembles de régions, *plus ou moins classés en fonction d'un stress hydrique décroissant*.

Dans le haut du tableau sont rassemblées les 3 HER-1 à climat typiquement méditerranéen, mais parmi lesquels l'originalité du climat cévenol ressort nettement. Le climat sub-méditerranéen des Préalpes du sud apparaît sensiblement moins contrasté que les précédents, mais se différencie clairement de celui des Préalpes du nord. Les Grands Causses occupent une position intermédiaire entre Méditerranée et Massif Central.

Viennent ensuite les régions Aquitaines et les dépressions qui bordent le Massif central, chaudes en été, et assez peu arrosées. Puis un ensemble de régions plus nordiques, de plaines ou de reliefs modérés, peu arrosées mais avec de faibles écarts de précipitations ; enfin les régions de montagne fortement et régulièrement arrosées, avec des pluies décennales relativement fortes.

ID	HER	Temp Max	Pluie moy	Ecart	Pluie 24h
6	MEDITERRANEEN	4	1	4	4
16	CORSE	4	2	4	4
8	CEVENNES	3	4	4	5
7	PREALPES DU SUD	3	2	2	3
19	GRANDS CAUSSES	2	2	2	3
17	DEPRESSIONS SEDIMENTAIRES	3	1	2	2
13	LANDES	3	2	2	2
15	PLAINE SAONE	3	2	1	2
11	CAUSSES AQUITAINS	3	2	1	2
14	COTEAUX AQUITAINS	3	2	1	2
12	ARMORICAIN	2	2	2	1
9	TABLES CALCAIRES	2	1	1	1
18	ALSACE	2	1	1	1
20	DEPOTS ARGILO SABLEUX	2	1	1	1
10	COTES CALCAIRES EST	2	2	1	1
22	ARDENNES	2	2	1	1
21	MASSIF CENTRAL NORD	2	2	1	2
3	MASSIF CENTRAL SUD	2	3	1	3
1	PYRENEES	2	4	1	3
4	VOSGES	2	4	1	3
5	JURA-PREALPES DU NORD	2	4	1	3
2	ALPES INTERNES	1	3	1	3

Tableau 3.10 - Synthèse des caractéristiques de climat des hydro-écorégions de niveau 1

Au total, on peut donc distinguer 4 grands types climatiques, avec des variations parfois importantes. Néanmoins, si les types méditerranéen et montagnard sont assez bien marqués, les différences entre les deux autres groupes de plaines et collines du nord et du sud sont plus floues, et ne permettent pas de délimiter des frontières évidentes.

C'est la raison pour laquelle dans notre classification, seul le climat Méditerranéen et sa variante cévenole interviennent à un premier niveau de délimitation des HER-1 ; le climat montagnard est tout simplement associé aux reliefs qui l'engendrent.

Conclusion

Nous ne reviendrons pas sur la classification des HER-1 intégrant géologie, relief et climat, exposée précédemment. La caractérisation simplifiée présentée ci-dessus permet néanmoins d'explicitier les critères de choix qui ont conduit à la délimitation des régions, et fournit des éléments quantifiés sur les déterminants primaires du fonctionnement écologique des cours d'eau, permettant d'expliquer et de prévoir dans une certaine mesure la distribution spatiale de types de milieu.

Une étape ultérieure du travail consistera à régionaliser sur ces bases les facteurs de contrôle de nature hydrologique, morphologique et physico-chimique, et finalement les structures biologiques associées. Ce travail fait partie du processus de définition des conditions de référence.

III.2.5 - Utilisation de la régionalisation de premier niveau.

Cette régionalisation du territoire constitue un premier « filtre » dans l'analyse de la variabilité spatiale de la structure et du fonctionnement des écosystèmes d'eau courantes. Elle intègre la dimension géographique de la variabilité des milieux, et aboutit à partitionner la variance attendue au niveau local sur les caractéristiques abiotiques et biologiques des cours d'eau.

Comme nous l'avons rappelé en introduction, la typologie qui s'applique à des tronçons homogènes de cours d'eau doit intégrer aussi la dimension longitudinale. Celle-ci sera décrite de manière simple et robuste par l'ordination du réseau selon la méthode de Stralher. *Le couplage HER x Rang constitue donc la base de la typologie à l'échelle nationale.*

Cet exercice a été déjà initié dans plusieurs bassins. Une note de travail diffusée précédemment ⁽⁴⁾ indiquait les principes méthodologiques pour le couplage et présentait un exemple d'application au bassin Loire Bretagne. *Les principaux éléments de cette note sont repris en annexe 6.*

Il faut évidemment rappeler que cette typologie effectuée a priori sur les paramètres physiques, respectant en cela entièrement les préconisations de la Directive, a été réalisée avec la contrainte d'aboutir à un nombre raisonnable de types, en tout état de cause du même ordre de grandeur que celui qui résulterait de l'application du système A. Cette typologie devra bien sûr être validée à partir de données recueillies sur des sites de référence.

Nous avons par principe conservé un niveau de précision suffisant pour identifier et régionaliser tous les facteurs de variabilité qui semblaient *a priori* pouvoir générer des variations *significatives* sur la structure et les peuplements aquatiques. Il est tout à fait évident que tous les types identifiés par couplage HER x Rang ne se différencieront pas sur *tous* les paramètres. Il est même probable que certains types s'avèreront suffisamment similaires pour pouvoir être regroupés à la fin du processus de définition des conditions de référence. Autrement dit, nous avons cherché à éviter les erreurs de type I (des types trop hétérogènes quant aux conditions de référence) en acceptant un certain risque d'erreur de type II (des types séparés a priori sont en fait similaires), ce deuxième cas étant beaucoup moins gênant. Néanmoins, le cas de figure le plus probable est que les types seront regroupés de manière différente en fonction des « éléments de qualité » considérés (au sens de la DCEE). Nous donnons au **chapitre IV** des éléments allant dans ce sens pour les peuplements d'invertébrés.

III.3 - Les hydro-écorégions de niveau 2

Avec la contrainte évoquée ci-dessus de ne pas multiplier le nombre de type, il est malgré tout probable que certaines erreurs de type I existent dans notre régionalisation. En effet, il reste de toute évidence une certaine variabilité interne aux HER-1 qui ressort encore d'une analyse régionale.

Le deuxième niveau de régionalisation a donc pour but d'identifier à l'intérieur des HER-1 des variations de certains déterminants géophysiques ou climatiques pouvant induire des réponses significatives au niveau local. Autrement dit, il est possible de définir un deuxième niveau de filtre régional qui pourrait dans certains cas améliorer la discrimination à l'intérieur de types qui s'avèreraient à l'analyse trop hétérogènes.

⁴ Note d'information N°3 diffusée le 8 avril 2002 auprès du groupe de travail Directive cadre « Objectifs Environnementaux des Eaux de Surfaces Continentales » DCE-OE/ESC de la Direction de l'Eau.

III.3.1 - principes de délimitation des HER-2

L'examen des couches d'informations utilisées pour la délimitation des HER-1 montre la possibilité de déterminer des sous-régions homogènes et bien différenciées, pertinentes a priori au regard du fonctionnement des écosystèmes aquatiques. Deux cas de figure se présentent :

- soit des déterminants primaires n'ont pas été pris en compte du fait des simplifications réalisées pour la régionalisation de premier niveau ; c'est le cas notamment pour la géologie.
- Soit on a toléré par construction dans les HER-1 une certaine hétérogénéité d'un paramètre considéré comme moins important, mais dont la distribution spatiale ressort encore d'une analyse régionale ; c'est fréquemment le cas pour des variables climatiques.

Des exemples permettront d'illustrer ces cas de figure :

- Le massif des Vosges peut être scindé en Vosges gréseuses d'une part (roches poreuses, moyennement résistante à l'érosion) et Vosges granitiques d'autre part (roches imperméables et résistantes) qui constituent deux entités géographiques distinctes dans une analyse à cette échelle.
- De même dans les Tables calcaires du Bassin Parisien, il apparaît pertinent d'identifier :
 - une *zone centrale* peu homogène au plan lithologique,
 - une *couronne orientale* de couverture crayeuse ou de calcaire *perméable*,
 - des *zones plus imperméables*, soit par l'affleurement de couches marneuses du crétacé ou du jurassique, soit par la présence d'une couverture imperméable d'argile à silex,
 - une zone ouest à la fois sous l'influence d'un *climat maritime* (plus frais et plus humide) et où les cours d'eau sont *alimentés par les nappes* du fait d'une incision marquée des vallées dans la couronne calcaire (variation géomorphologique).
- Dans le Massif armoricain, sur une géologie relativement homogène, les régions du Finistère et le sud du Cotentin se différencient par des reliefs très peu marqués, mais suffisants pour induire une pluviométrie plus abondante qui limite sensiblement le stress hydrique estival.

III.3.2 - Utilisation de la régionalisation de deuxième niveau.

Ce type d'information, non utilisable à l'échelle de la France pour proposer une typologie de masses d'eau car aboutissant à des combinaisons trop complexes, peut s'avérer très utile à l'échelle d'une région ou d'un bassin pour expliquer des variations qui pourront être observées à l'intérieur des HER-1 dans le fonctionnement des écosystèmes et sur les peuplements de référence.

L'intérêt de définir ou non des sous-types correspondants à ces HER-2 devra être apprécié au regard des variations observées sur les conditions de référence, notamment biologiques, dans une perspective d'évaluation de l'état écologique.

En tout état de cause, ces HER-2 décrivent a priori la variabilité interne d'une région de premier niveau. *Nous préconisons donc, pour obtenir la meilleure représentativité possible des conditions de référence, de rechercher dans toute la mesure du possible des sites de référence dans les différentes HER-2 d'une région donnée.* Cette stratégie d'échantillonnage aura pour résultat de bien décrire la variabilité interne d'un type, et donc d'assurer que les conditions de référence ne sont pas biaisées par le fait d'avoir été relevées dans un contexte particulier. Si cette condition n'est pas respectée, le risque d'aboutir à des *références trop exigeantes* par rapport à la région est au moins aussi probable que le cas de figure inverse.

Enfin, ces HER-2 constitueront souvent des unités spatiales adéquates pour regrouper des ensembles de masses d'eau de type « petit cours d'eau » qui pourront être traités de manière statistique. Ce point est également détaillé dans l'**annexe 6**.

III.3.3 - Cartographie des HER-2

L'analyse des informations géographiques disponibles aboutit à l'identification de 107 unités différentes représentée sur la carte ci-dessous. Le descriptif détaillé des polygones est fourni en **annexe 5**.

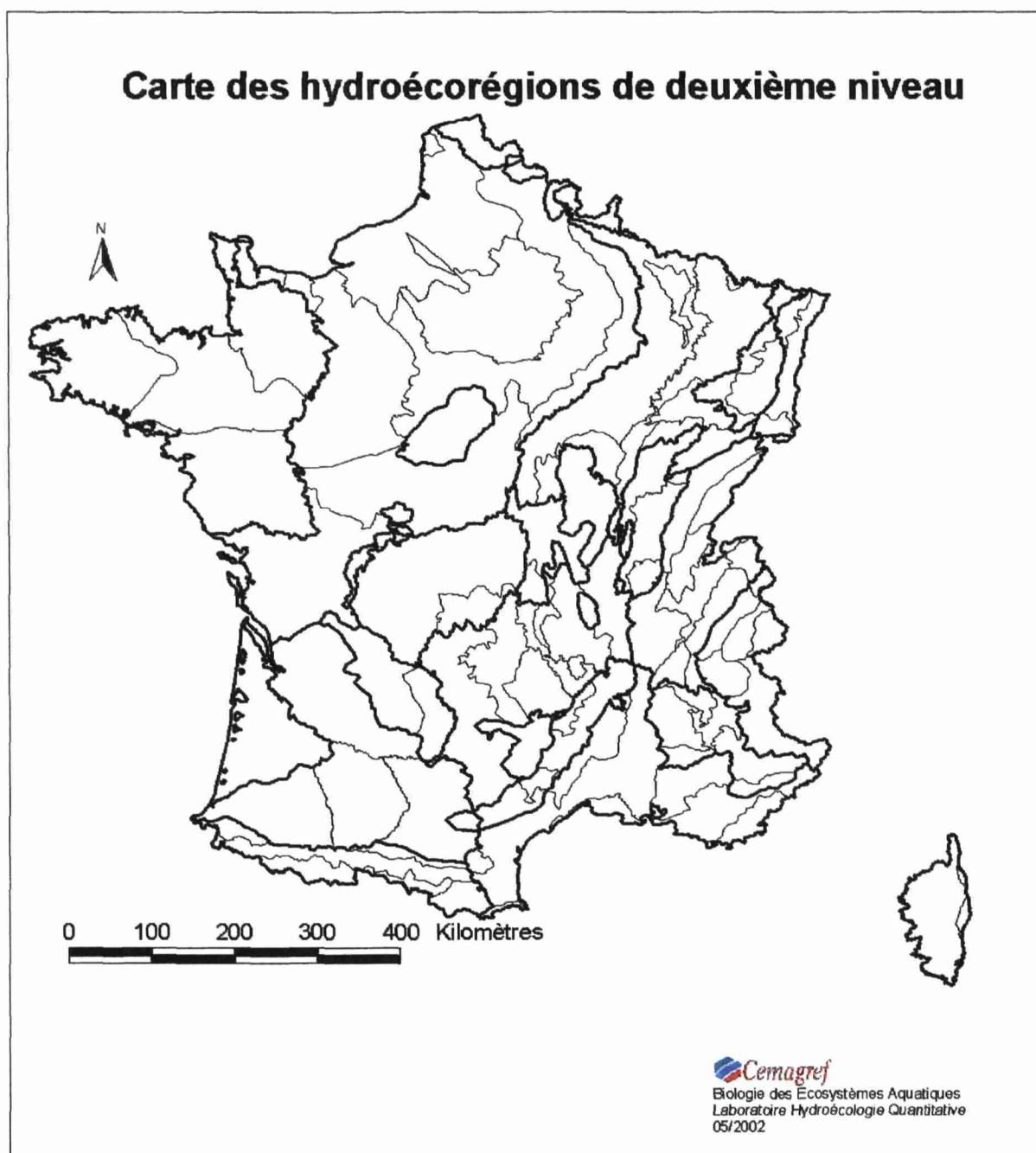


Figure 3. 8 - Carte des hydro-écorégions de niveau 2 pour la France métropolitaine

IV – Hydro-écorégions et peuplements d'invertébrés.

Analyse spatio-temporelle des peuplements d'invertébrés benthiques de sites de référence à l'échelle de deux bassins français – Test de l'approche hydro-écorégionale et éléments pour la définition des conditions de référence.

IV.1 - Problématique

La première phase de mise en œuvre de la DCE est un diagnostic général de l'état des milieux pour pouvoir établir des programmes de surveillance et de restauration de la qualité des cours d'eaux. L'évaluation de l'état écologique se fait par comparaison avec des conditions de référence, qui devront être établies dans la mesure du possible à partir d'un réseau de mesure sur des sites de « référence », c'est-à-dire non ou très peu modifiés par l'action de l'homme. Ces conditions de référence doivent être définies pour chaque type de cours d'eau issu de la typologie préliminaire. Lorsque des sites de référence ne pourront pas être trouvés, on pourra avoir recours à la modélisation, à des données historiques, et en dernier recours à l'avis d'expert.

C'est dans ce contexte que le *Cemagref* s'est engagé à proposer une méthodologie pour la définition des conditions de référence dans les eaux courantes à l'échelle du territoire français. Cette approche sera évidemment en lien avec la typologie par hydro-écorégions et par rangs proposée dans le présent rapport. Les HER sont supposées constituer un cadre cohérent pour décrire les conditions naturelles abiotiques de différents types de cours d'eau et les peuplements de référence correspondant. Les caractéristiques des hydro-écorégions sont supposées conférer aux cours d'eau qui en découlent des propriétés communes. L'hypothèse de base pour la validation est donc qu'à l'intérieur d'une même HER les cours d'eaux présentent des caractéristiques communes en terme de fonctionnement écologique – et donc de peuplements - et de gradient d'évolution amont-aval. Là encore, la comparaison de la variabilité inter et intra-régionale constituera la base des analyses permettant de juger la pertinence de la typologie proposée.

Les objectifs de ce chapitre sont donc les suivants :

- 1 - synthétiser les données acquises depuis 25 ans par des équipes du *Cemagref* afin de sélectionner un jeu de données de peuplements d'invertébrés dans des stations de référence,
- 2 - analyser la variabilité spatio-temporelle de ces peuplements d'invertébrés afin de tester la pertinence des hydro-écorégions. La question sous jacente à cet objectif est d'étudier la possibilité d'établir des différences faunistiques entre HER d'où le 3^{ème} objectif de cette étude,
- 3 - identifier un référentiel faunistique régionalisé, et ce d'un point de vue taxonomique mais aussi fonctionnel.

IV.2 - Présentation des données

IV.2.1 - La base de données

Depuis 1999, des données disponibles au *Cemagref* au sein des Unités de Recherche « Hydrobiologie » d'Aix-en-Provence et « Biologie des Ecosystèmes Aquatiques » de Lyon, sont progressivement incorporées dans une base informatique partagée entre ces deux sites. Cette base implémentée sous le logiciel Access® de Microsoft est constituée de différentes tables liées entre elles (Prélèvements, Etudes, Stations, Cours d'eau, Bassin versant, Limnofaune...). Les données saisies dans la base sont relatives à diverses études (35 au total) qui ont été conduites par les équipes du *Cemagref* au cours des 25 dernières années avec des objectifs variés : impact des modifications du régime

hydrologique (débit réservé, éclusées, retenues...), impact de pollution, études typologiques, suivis hydrobiologiques au niveau de plusieurs centrales nucléaires...

IV.2.2 - Les stations de référence

88 stations ont été identifiées comme de référence. Le choix de ces stations repose sur un avis d'expert, guidé par les connaissances qualitatives et/ou quantitatives de la qualité de l'eau et de la qualité globale de l'habitat au sens large, et sur l'absence de cause connue de perturbations significative pouvant affecter les milieux. Sur l'ensemble des hydro-écorégions de niveau 1 définies à l'échelle de la France, ces 88 stations sont réparties dans 10 HER-1 de la façon suivante :

Répartition régionale

HER	Nombre de stations
2 : Alpes internes	26
3 : Massif Central sud	9
5 : Jura-Préalpes du nord	3
6 : Méditerranée	5
7 : Préalpes du sud	10
8 : Cévennes	9
9 : Tables Calcaires	9
12 : Massif Armoricaïn	6
20 : Dépôts argilo-sableux	2
21 : Massif Central nord	8

L'hétérogénéité de la répartition géographique des sites dans les HER pose de gros problèmes lorsqu'il s'agit de réaliser des tests statistiques. Il était indispensable de constituer une partition plus équilibrée pour analyser les données. En s'appuyant sur les résultats de premières analyses effectuées, et en considérant les caractéristiques de ces 10 HER-1, 6 groupes régionaux, que nous appellerons simplement « écorégions » dans la suite de ce travail, ont été définies de la façon suivante (figure 4.1) :

- **écorégion 1 (Med)** : elle regroupe les HER « Méditerranée » (6) et « Cévennes » (8) ; ces deux régions partagent une même dominante climatique, et de plus bon nombre des stations localisées dans l'HER « Méditerranée » sont en fait situées sur des cours d'eau (dont l'Hérault) prenant leur origine dans les Cévennes, qui seront donc considérés comme exogènes dans la typologie de la région méditerranéenne (cf annexe 6).
- **écorégion 2 (préAlp)** : elle regroupe les HER « Jura-préalpes du nord » (5) et « préalpes du sud » (7); la principale différence entre ces deux HER est d'origine climatique, les contextes géologiques et géomorphologiques sont comparables.
- **écorégion 3 (Alp)** : elle correspond à l'HER « Alpes internes » (2) ;
- **écorégion 4 (MC)** : elle regroupe les HER « Massif Central sud » (3) et « Massif Central nord » (21), différenciées sur un critère géomorphologique dans un même contexte géologique et climatique ;
- **écorégion 5 (TC)** : elle regroupe les HER « Tables Calcaires » (9) et « Dépôts argilo-sableux » (20) ; La différence entre ces HER repose sur la couverture géologique de surface imperméable pour l'HER 20 ; les contextes climatiques et géomorphologiques sont similaires.
- **écorégion 6 (MA)** : elle correspond à l'HER « Massif Armoricaïn » (12), les stations étant situées dans la partie nord-est de ce massif.

On notera que ces 6 régions-tests recouvrent bien la gamme de diversité des milieux que l'on peut s'attendre à trouver à l'échelle du territoire national, en tenant compte des caractéristiques du relief, de la géologie et du climat : sont en effet représentées dans cet échantillon des hautes montagnes, des moyennes montagnes, des plaines granitiques et calcaires, et la zone méditerranéenne.

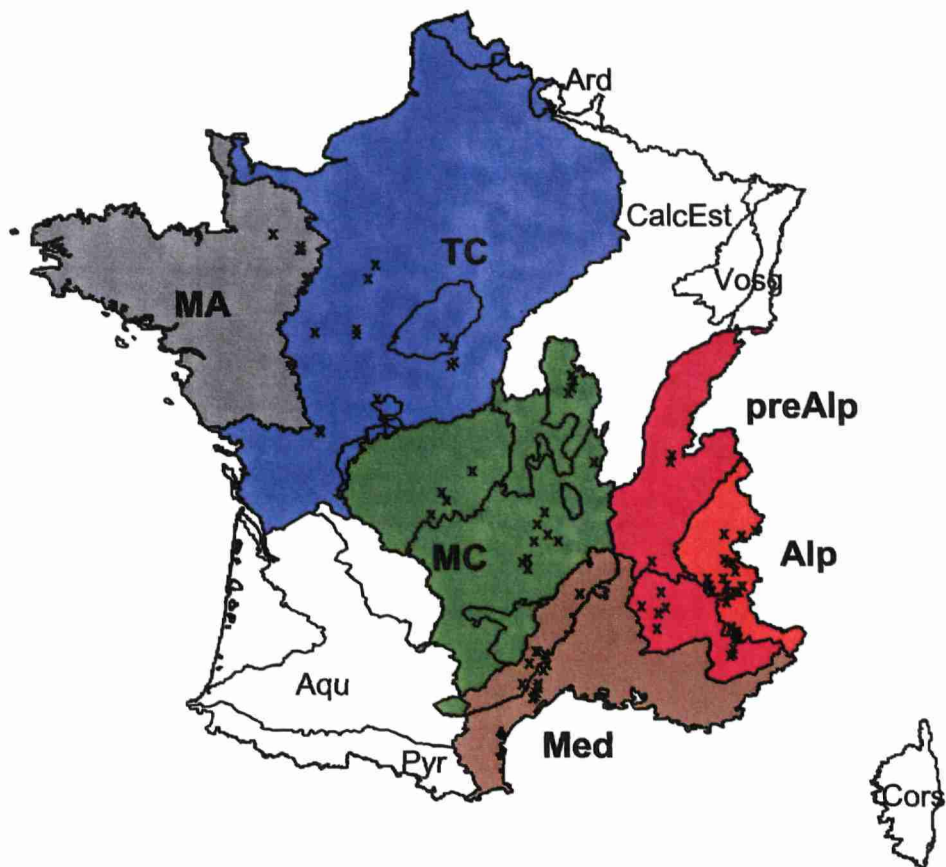


Figure 4.1 – Localisation des 88 stations de référence étudiées dans 6 « écorégions » constituées par regroupements de HER-1.

Pour chaque station, on dispose d’informations concernant l’altitude, la pente et le rang de Strahler (tableau 4.1).

Ecorégion	Nbre de stations de référence	Pente (%)	Altitude (m)
Tables Calcaires	12	0.28 ± 0.11	125 ± 39
Massif Armoricain	6	0.46 ± 0.35	174 ± 35.1
Massif Central	17	1.49 ± 2.27	554 ± 186.4
Alpes	26	3.99 ± 3.1	1335 ± 323.4
Préalpes	13	1.48 ± 0.73	742 ± 254
Méditerranée	14	1.96 ± 3.42	299 ± 343

Tableau 4.1 - Pentes et altitudes moyennes $\pm$ écart-type des stations échantillonnées par écorégions

La figure 4.2 ci-dessous montre les fortes relations existant entre les écorégions et la pente, et les écorégions et l’altitude, ce qui est confirmé par des analyses de variance (ANOVA) :

- pour l’altitude, après transformation racine carrée (SQR) : $p < 10^{-3}$, $r^2 = 0.78$;
- pour la pente, après transformation log : $p < 10^{-3}$, $r^2 = 0.49$.

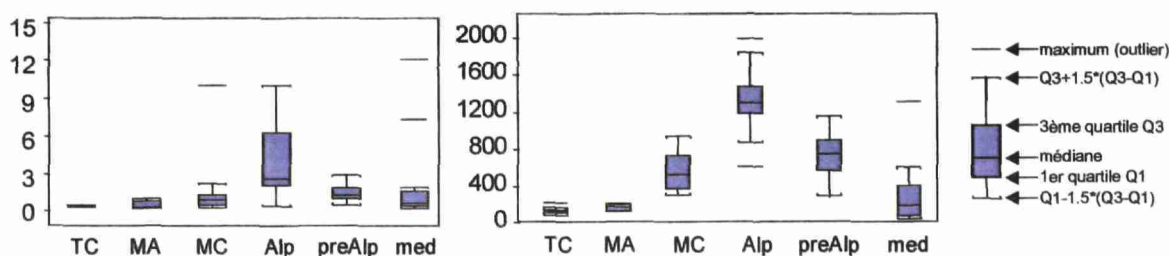
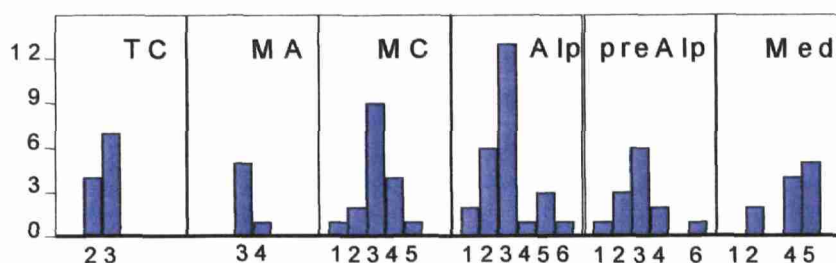


Figure 4.2 – Pentés et altitudes des stations échantillonnées dans les six écorégions, représentation des boîtes à moustache (médiane, 1er, 3ème quartile, interquartile, minimum, maximum).

Cette relation est logique par construction, puisque le relief (altitude, pente des versants et des thalwegs) intervient très fortement dans la délimitation des HER. Elle illustre le fait que les stations sont bien représentatives des HER échantillonnées.

Répartitions des stations selon les rangs de Strahler

La majorité des stations échantillonnées se trouvent sur des tronçons de cours d'eau dont le rang de Strahler est égal à 2 (19% des stations), 3 (46% des stations), ou 4 (15% des stations), les rangs 1, 5 et 6 représentant respectivement 7 %, 10% et 2% des stations. La représentation des rangs par écorégions est la suivante :



Répartition des stations selon les rangs de Strahler

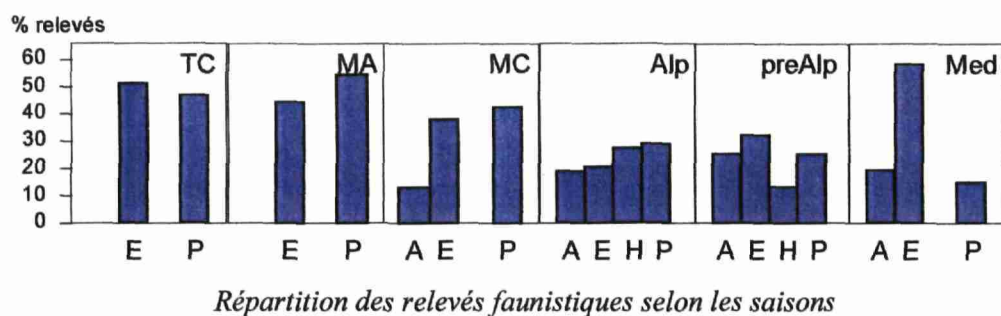
On constate une très grande hétérogénéité puisque tous les rangs sont loin d'être représentés dans chaque écorégion.

Répartition saisonnière des prélèvements

Du point de vue temporel, la plupart des 88 stations de référence ont été échantillonnées à plusieurs dates si bien qu'au total 323 relevés étaient disponibles. Les saisons ont été définies de la façon suivante : le printemps correspond aux mois de mars, avril, mai et juin, exception faite pour les stations de Montagne pour lesquelles des relevés effectués au début du mois de mars ont été classés comme hivernaux, l'été correspondant aux mois de juillet, août et septembre, l'automne aux mois d'octobre et novembre et l'hiver aux mois de décembre, janvier et février.

Là aussi, le déséquilibre dans la représentation écorégionale des relevés nous a conduit à en supprimer un certain nombre afin d'homogénéiser le jeu de données. Il s'agit essentiellement de relevés qui ont été effectués mensuellement sur 13 stations dans le cadre d'une étude sur le bassin du Verdon. La sélection s'est faite de façon partiellement aléatoire mais avec tout de même comme condition de conserver au moins un relevé par saison. Finalement, nous disposons de 239 relevés effectués dans 88 stations de référence réparties dans 6 écorégions.

Par écorégion, les pourcentages de relevés correspondant aux différentes saisons sont donc les suivants:



Les caractéristiques générale des 88 stations de référence retenues se trouvent dans le tableau 1.2.

Protocole d'échantillonnage faunistique

Les échantillonnages ont été effectués en majorité avec un filet de type Surber combiné dans 9% des relevés avec un filet troubleau. L'influence de l'utilisation de cette combinaison d'échantillonnage a été testée pour les études concernées, effectuées sur la rivière Dore (Lafont *et al.*, 1995) et sur la rivière Ardières (Faessel *et al.*, 1993). Que ce soit au niveau de la structure faunistique, de la richesse taxonomique ou de l'abondance totale, les résultats obtenus n'ont généralement pas mis en évidence de différence significative entre les prélèvements effectués uniquement au filet de type Surber et ceux effectués au filet de type Surber associé au filet troubleau. Par conséquent, les différentes types de prélèvement ont été regroupés pour les stations concernées.

Entre 4 et 8 prélèvements ont été effectués par station à chaque relevé, la surface échantillonnée sur la station étant au moins égale à 0.4 m² (max = 1 m²).

Par ailleurs l'information n'étant pas toujours disponible à l'échelle du prélèvement, nous avons travaillé à l'échelle de la station après avoir additionné les abondances taxonomiques obtenues sur tous les prélèvements unitaires effectués sur une station et ramené cette somme à une surface de 1 m². Les abondances taxonomiques sont donc exprimées en densité : nombre d'individus par m². Le niveau des déterminations taxonomiques était aussi assez hétérogène selon les études. Elles ont été faites jusqu'au genre dans certains cas pour les Ephéméroptères, Plécoptères, Trichoptères, Coléoptères, Mégaloptères et Mollusques et pour les autres ordres jusqu'à la famille (Diptères, Hémiptères, Odonates, Achètes, Crustacés, Triclades), l'ordre (Lépidoptères), voire l'embranchement pour les Cnidaïres.

nom	BV	référence	code station	nb prel	écorégion	rang Strahler	altitude (m)	pente (%)
Le Drac	Rhône	Cacas <i>et al.</i> (1989)	DRA1	1 (E)	Alp	3	1231	2.3
Le Drac	Rhône	Cacas <i>et al.</i> (1989)	DRA2	1 (E)	Alp	3	1192	2.6
l'Aigronne	Loire	Ivol-Rigaut (1998)	AIG	2 (1P, 1E)	TC	3	100	0.2
l'Egrenne	Loire	Ivol-Rigaut (1998)	EGR	2 (1P, 1E)	MA	3	215	0.8
l'Orthe	Loire	Ivol-Rigaut (1998)	ORT1	2 (1P, 1E)	MA	3	136	0.3
l'Orthe	Loire	Ivol-Rigaut (1998)	ORT2	2 (1P, 1E)	MA	3	128	0.3
la Banize	Loire	Ivol-Rigaut (1998)	BAN	2 (1P, 1E)	MC	2	581	0.5
la Boivre	Loire	Ivol-Rigaut (1998)	BOI1	2 (1P, 1E)	TC	2	120	0.2
la Boivre	Loire	Ivol-Rigaut (1998)	BOI2	2 (1P, 1E)	TC	2	115	0.2
la Boute vive	Loire	Ivol-Rigaut (1998)	BOU	2 (1P, 1E)	TC	3	130	0.4
la Celle	Loire	Ivol-Rigaut (1998)	CEL	2 (1P, 1E)	MC	3	310	0.4
la Cloche	Loire	Ivol-Rigaut (1998)	CLO	2 (1P, 1E)	TC	2	162	0.4
la Courgueyre	Loire	Ivol-Rigaut (1998)	COU	2 (1P, 1E)	MC	3	750	2.2
la Creuse	Loire	Ivol-Rigaut (1998)	CRE	2 (1P, 1E)	MC	3	570	1.2
la Crouce	Loire	Ivol-Rigaut (1998)	CRO4	2 (1P, 1E) + 3 (1P, 1E, 1A)	MC	3	740	2.2
la Dème	Loire	Ivol-Rigaut (1998)	DEM	2 (1P, 1E)	TC	3	95	0.2
la Dème	Loire	Ivol-Rigaut (1998)	DME	2 (1P, 1E)	TC	2	90	0.2
la Dolere	Loire	Ivol-Rigaut (1998)	DOL	2 (1P, 1E)	MC	3	943	1.3
la Dore	Loire	Ivol-Rigaut (1998)	DOR10	2 (1P, 1E)	MC	4	806	0.9
la Gourbe	Loire	Ivol-Rigaut (1998)	GOU1	2 (1P, 1E)	MA	3	202	1.0
la Gourbe	Loire	Ivol-Rigaut (1998)	GOU2	1 (P)	MA	3	185	0.2
la Gourbe	Loire	Ivol-Rigaut (1998)	GOU3	2 (1P, 1E)	MA	4	178	0.2
la Grande Briançonne	Loire	Ivol-Rigaut (1998)	GBR	2 (1P, 1E)	MC	1	375	0.5
la Rhône	Loire	Ivol-Rigaut (1998)	RHN	2 (1P, 1E)	TC	3	145	0.4
le Barangeon	Loire	Ivol-Rigaut (1998)	BAR1	2 (1P, 1E)	TC	3	220	0.4
le Barangeon	Loire	Ivol-Rigaut (1998)	BAR2	2 (1P, 1E)	TC	3	125	0.4
le Beuvron	Loire	Ivol-Rigaut (1998)	BEU	1 (E)	TC	4	130	0.2
le Méchet	Loire	Ivol-Rigaut (1998)	MCH	2 (1P, 1E)	MC	3	350	1.0
Mousson	Loire	Ivol-Rigaut (1998)	MOU	2 (1P, 1E)	MC	3	430	0.9
le Termin	Loire	Ivol-Rigaut (1998)	TER1	2 (1P, 1E)	MC	3	380	1.0
le Termin	Loire	Ivol-Rigaut (1998)	TER2	2 (1P, 1E)	MC	4	350	0.4
les Cartes	Loire	Ivol-Rigaut (1998)	CAR	2 (1P, 1E)	TC	3	70	0.2
la Crouce	Loire	Albert (2000)	CRO1	3 (1P 1E, 1A)	MC	3	530	0.6
le Doulon	Loire	Albert (2000)	DON	3 (1P 1E, 1A)	MC	4	610	1.4
Ardières	Rhône	Faessel <i>et al.</i> (1993)	ARD	4 (2P, 1E, 1H)	MC	2	460	10.0
la Dore	Loire	Lafont <i>et al.</i> (1995)	DOR	6 (2P, 2E, 2A)	MC	5	500	0.3
Durance	Rhône	Dumont & Rivier (1980, 1981)	DUR1	4 (1P, 2A, 1H)	Alp	3	1285	2.9
Durance	Rhône	Dumont & Rivier (1980, 1981)	DUR7	5 (1P, 1E, 1A, 2H)	Alp	6	876	0.5
Durance	Rhône	Dumont & Rivier (1980, 1981)	DUR8	5 (1P, 1E, 1A, 2H)	preAlp	6	810	0.5
L' Onde	Rhône	Dumont & Rivier (1980, 1981)	OND	3 (1P, 1E, 1H)	Alp	3	621	0.4
La Biaysse	Rhône	Dumont & Rivier (1980, 1981)	BAY	3 (1P, 1E, 1H)	Alp	3	1199	1.4
La Clarée	Rhône	Dumont & Rivier (1980, 1981)	CLAR1	3 (1P, 2A)	Alp	3	1993	2.5
La Clarée	Rhône	Dumont & Rivier (1980, 1981)	CLAR2	4 (1P, 1E, 1A, 1H)	Alp	3	1755	2.4
La Clarée	Rhône	Dumont & Rivier (1980, 1981)	CLAR3	2 (1P, 1A)	Alp	3	1476	1.3
Le Guil	Rhône	Dumont & Rivier (1980, 1981)	GUL4	3 (1P, 1E, 1H)	Alp	5	1069	2.0
Le Guil	Rhône	Dumont & Rivier (1980, 1981)	GUL5	3 (1P, 1E, 1H)	Alp	5	918	1.4
L'Arc	Rhône	non pub. Cemagref LHQ	ARC	1 (P)	Alp	1	1776 ?	?
L'Oule	Rhône	non pub. Cemagref LHQ	OUL	3 (2E, 1A)	preAlp	3	585	1.0
L'Ouvéze	Rhône	non pub. Cemagref LHQ	OUV	3 (1P, 1E, 1A)	preAlp	3	570	1.1
La Drome	Rhône	non pub. Cemagref LHQ	DRO	2 (1E, 1A)	preAlp	3	745	1.3
La Semine	Rhône	non pub. Cemagref LHQ	SEM	3 (2P, 1E)	preAlp	2	1160	2.9
La Severaisse	Rhône	non pub. Cemagref LHQ	SEV	2 (1P, 1H)	Alp	3	1160	2.9
La Vernaizon	Rhône	non pub. Cemagref LHQ	VEN01	3 (2E, 1A)	preAlp	3	295	1.3
Le Bez	Rhône	non pub. Cemagref LHQ	BEZ01	3 (2E, 1A)	preAlp	3	575	1.0
Le Doron de Belleville	Rhône	non pub. Cemagref LHQ	DBL01	1 (P)	Alp	3	1776 ?	?
Le Doron de Termigno	Rhône	non pub. Cemagref LHQ	DTE01	1 (P)	Alp	3	1346 ?	?
Le Drac	Rhône	non pub. Cemagref LHQ	DRA0	2 (1P, 1H)	Alp	3	1300	2.5
Le Guil	Rhône	non pub. Cemagref LHQ	GUL01	1 (H)	Alp	5	1297 ?	?
Le Roubron	Rhône	non pub. Cemagref LHQ	ROU01	3 (1P, 1E, 1A)	preAlp	2	505	2.5
Le Tacon	Rhône	non pub. Cemagref LHQ	TAC	3 (3P, 1A)	preAlp	1	545	2.5
l'Ance du Nord	Rhône	Valentin (1995)	ANC	3 (1P, 1A, 1H)	MC	4	730	0.6
la Fontaulère	Rhône	Valentin (1995)	FON	4 (1P, 1A, 2H)	Med	4	400	0.6
L'Arre	Hérault	Dumont <i>et al.</i> (1987)	ARR	3 (2E, 1A)	Med	1	180	0.6
l'Hérault	Hérault	Dumont <i>et al.</i> (1987)	HER1	2 (1E, 1A)	Med	1	1300	7.3
l'Hérault	Hérault	Dumont <i>et al.</i> (1987)	HER2	2 (1E, 1A)	Med	2	555	12.0
l'Hérault	Hérault	Dumont <i>et al.</i> (1987)	HER3	3 (2E, 1A)	Med	4	333	0.9
l'Hérault	Hérault	Dumont <i>et al.</i> (1987)	HER4	4 (1P, 3E)	Med	5	150	0.4
l'Hérault	Hérault	Dumont <i>et al.</i> (1987)	HER8	5 (1P, 3E, 1A)	Med	5	113	0.2
l'Hérault	Hérault	Dumont <i>et al.</i> (1987)	HER09	1 (E)	Med	5	60	0.2
l'Hérault	Hérault	Dumont <i>et al.</i> (1987)	HER10	1 (E)	Med	5	40	0.2
l'Hérault	Hérault	Dumont <i>et al.</i> (1987)	HER11	5 (1P, 3E, 1A)	Med	5	30	0.5
La Dourbue	Hérault	Dumont <i>et al.</i> (1987)	DBI01	1 (E)	Med	3	32	1.6
La Lergue	Hérault	Dumont <i>et al.</i> (1987)	LER1	5 (1P, 3E, 1A)	Med	4	178	0.4
La Vis	Hérault	Dumont <i>et al.</i> (1987)	VIS1	4 (1P, 2E, 1A)	Med	2	600	1.9
La Vis	Hérault	Dumont <i>et al.</i> (1987)	VIS2	4 (1P, 3E)	Med	4	216	0.6
Le Verdon	Rhône	CTGREF (1976)	VER1	4 (1P, 1E, 1A, 1H)	Alp	2	1842	4.7
Le Verdon	Rhône	CTGREF (1976)	VER2	4 (1P, 1E, 1A, 1H)	Alp	2	1652	8.0
Le Verdon	Rhône	CTGREF (1976)	VER3	4 (1P, 1E, 1A, 1H)	Alp	2	1434	4.7
Le Verdon	Rhône	CTGREF (1976)	VER4	4 (1P, 1E, 1A, 1H)	Alp	4	1281	2.2
Le Verdon	Rhône	CTGREF (1976)	VER5	4 (1P, 1E, 1A, 1H)	preAlp	4	1041	1.1
Le Verdon	Rhône	CTGREF (1976)	VER6	4 (1P, 1E, 1A, 1H)	preAlp	4	899	0.9
Bouchiers	Rhône	CTGREF (1976)	BCH	4 (1P, 1E, 1A, 1H)	Alp	2	1421	8.2
Chadouin	Rhône	CTGREF (1976)	CHD	4 (1P, 1E, 1A, 1H)	Alp	2	1437	9.7
Cignon	Rhône	CTGREF (1976)	CLI	3 (1P, 1A, 1H)	Alp	3	1329	9.9
Chasse	Rhône	CTGREF (1976)	CHA	3 (1P, 1E, 1H)	Alp	2	1220	6.2
Issole	Rhône	CTGREF (1976)	ISS	3 (1P, 1E, 1H)	preAlp	3	1022	1.9
Noire	Rhône	CTGREF (1976)	NOI	3 (1P, 1E, 1H)	preAlp	2	899	1.3
Lance	Rhône	CTGREF (1976)	LAN	3 (1P, 2E)	Alp	1	1676	9.1

Tableau 4.2 - Caractéristiques des 88 stations de référence.

BV : bassin versant. Ecorégions constituées par regroupements de HER-1 (voir figure 4.1) : TC : Tables Calcaires et dépressions sédimentaires, MA : Massif Armoricaire, MC : Massif Central (nord et sud), Med : Cévennes et Méditerranée, preAlp : Jura et Préalpes (nord et sud), Alp : Alpes Internes.

IV.2.3 - Bilan des données disponibles

Finalement, à partir de l'ensemble des données disponibles, deux jeux de données ont pu être constitués :

- Un jeu de données « famille / saisons », avec une détermination taxonomique allant jusqu'à la **famille** et portant sur **225 relevés sur 76 stations** effectués sur **l'ensemble des saisons**. L'influence de la variabilité saisonnière pour l'identification de référentiels faunistiques régionalisés pourra être étudiée sur ces données.

Les résultats présentés ci-après correspondent à l'analyse de ce premier jeu de données.

- Un jeu de données « genre / printemps », avec une détermination taxonomique allant jusqu'au **genre** et portant sur **67 stations** échantillonnées à **une seule saison : le printemps**. Sur ce jeu de données, nous étudierons plus en détail d'une part les influences respectives de différents facteurs spatiaux sans éventuelle interaction avec une effet saisonnier, et d'autre part les caractéristiques fonctionnelles des peuplements.

L'analyse de ce deuxième jeu de données (genre/printemps) n'est pas complètement terminée, et les résultats seront présentés d'ici à la fin de l'année 2002 dans le cadre de convention entre le Cemagref et la Direction de l'Eau portant sur l'appui à la mise en œuvre de la DCE.

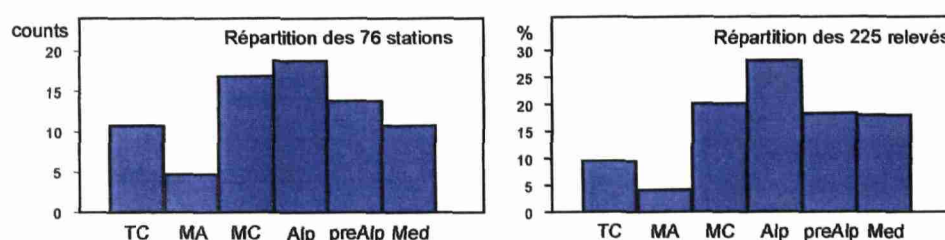
IV.3 - Résultats et discussions

Variabilité globale des structures taxonomiques sur l'ensemble des relevés saisonniers et sur la base d'une résolution taxonomique à la famille

IV.3.1 - Données traitées

Répartition spatiale et saisonnière des relevés

Sur l'ensemble des 239 relevés retenus, nous n'avons conservé que ceux effectués dans des stations échantillonnées à au moins deux dates différentes soit **225 relevés effectués dans 76 stations** de référence. La répartition écorégionale de ces stations et de ces relevés est la suivante :



Répartition des stations et des relevés analysés

La répartition par saison et par rang de ces relevés est similaire à celles observées sur les 239 relevés (Cf § IV.2.2).

Simplification des données faunistiques

Le niveau de détermination minimum commun à tous ces relevés est celui de la famille pour les Ephémères, Plécoptères, Trichoptères, Coléoptères, Odonates, Mégaloptères, Hémiptères, Diptères, Planipennes, Crustacés, Achètes et Mollusques et celui de l'ordre pour les Lépidoptères, Hydracariens, Oligochètes, Némertiens, Planaires, Cnidaïres, Hyménoptères et Nématodes. Au total, **119 taxons** ont ainsi été identifiées sur l'ensemble

des relevés (tableau 4.3). Parmi ces derniers, les Hydracariens, les Némertiens, les Hyménoptères, les Nématodes ont été éliminés (pas toujours pris en compte lors des tris ou considérés comme peu informatifs d'un point de vue écologique). Les 115 taxons restants ont donc été conservés pour une approche globale des peuplements faunistiques basée sur l'analyse de différents indices faunistiques (richesse, diversité, etc....).

Pour étudier la structure des assemblages faunistiques, des analyses multivariées ont été mises en œuvre en considérant les densités faunistiques (nombre d'individus par m²) transformées en logarithme afin d'homogénéiser les variances entre taxons. Pour ces dernières analyses seuls les taxons dont l'occurrence est supérieure à 3% (c'est à dire présents dans plus de 6 relevés sur 225) ont été conservés afin d'éviter le biais associé aux taxons rares, ce qui ramène à 81 taxons.

Les résultats des AFC obtenues avec et sans les taxons rares ont été comparés. Pour cela, des corrélations ont été faites entre les coordonnées des relevés sur les axes 1 et 2 des deux analyses. Pour les axes F1, le coefficient de corrélation est égal à 0.993 ($p < 10^{-3}$) et pour les axes F2, il est égal à 0.703 ($p < 10^{-3}$) (0.696 pour les 3èmes axes). De plus, afin de comparer non plus les structures obtenues sur les axes 1 et 2 mais les structures globales de chaque jeu de données, nous avons calculé des matrices de distance euclidienne puis utilisé le test de comparaison de Mantel (1967) qui mesure la corrélation entre les matrices de distance. La signification statistique de cette corrélation est déterminée par un test de permutations aléatoires. Dans ce cas, le coefficient de corrélation de Mantel est égal à 0.854 ($p < 10^{-3}$).

Nous pouvons en conclure que la suppression des taxons rares n'affecte pas significativement les structures de l'analyse.

IV.3.2 - Analyse de la structure faunistique globale

AFC du tableau global : 225 relevés (stations – dates) x 81 taxons

Cette analyse fournit une première image générale de la structure du tableau de données (figure 4.3). Seuls les deux premiers axes représentant 17.4 % et 6.7 % de l'inertie totale sont représentés.

La représentation des relevés regroupés par région montre qu'il existe dans cette analyse globale une forte composante régionale puisque ces groupes, malgré une variabilité importante, apparaissent distinctement. Ainsi, selon l'axe 1 les relevés des Alpes et préalpes s'opposent à ceux des Tables Calcaires alors que les relevés des régions Méditerranée, Massif Armoricain et Massif Central occupent une position intermédiaire. Selon l'axe 2 les relevés méditerranéens s'opposent à ceux du Massif Armoricain et des Tables Calcaires

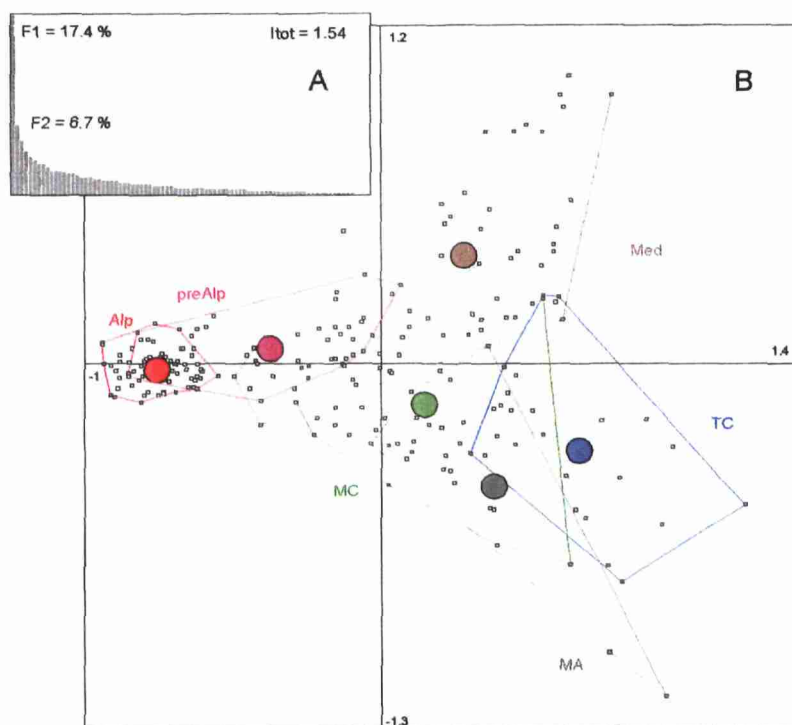


Figure 4.3 - AFC du tableau d'abondance faunistique global (transformation log) [225 stations-dates x 81 taxons-famille] (%Occ>3).

A - Histogramme des valeurs propres. B - Plan 1-2 des relevés regroupés par région (polygone).

		abon	%abon	occ	%occ
Pleco	Capniidae	1942	0.0991	14	6.22
	Chloroperlidae	2031	0.1036	68	30.22
	Leuctridae	172325	8.7937	211	93.78
	Nemouridae	75439	3.8496	176	78.22
	Perlidae	6239	0.3184	155	68.89
	Perlodidae	6670	0.3404	140	62.22
	Taeniopterygidae	27683	1.4127	95	42.22
Tricho	Beraeidae*	16	0.0008	6	2.67
	Brachycentridae	14602	0.7451	67	29.78
	Calamoceratidae*	9	0.0005	2	0.89
	Ecnomidae	401	0.0205	13	5.78
	Glossosomatidae	4787	0.2443	104	46.22
	Goeridae	1494	0.0762	69	30.67
	Hydropsychidae	120317	6.1398	162	72.00
	Hydroptilidae	3993	0.2038	46	20.44
	Lepidostomatidae	4631	0.2363	57	25.33
	Leptoceridae	2313	0.1180	74	32.89
	Limnephilidae	82034	4.1862	156	69.33
	Molannidae*	124	0.0063	2	0.89
	Odontoceridae	1029	0.0525	54	24.00
	Philopotamidae	8538	0.4357	51	22.67
	Polycentropodidae	4133	0.2109	75	33.33
	Psychomyiidae	11095	0.5662	85	37.78
	Rhyacophilidae	9865	0.5034	206	91.56
	Sericostomatidae	9579	0.4888	113	50.22
	Thremmatidae*	40	0.0020	5	2.22
Ephem	Baetidae	186972	9.5412	222	98.67
	Caenidae	17208	0.8781	78	34.67
	Ephemerellidae	31374	1.6010	119	52.89
	Ephemeridae	5734	0.2926	100	44.44
	Heptageniidae	88102	4.4958	202	89.78
	Leptophlebiidae	4854	0.2477	100	44.44
	Oligoneuriidae	1602	0.0817	9	4.00
	Polymitarcidae*	3640	0.1857	6	2.67
	Potamanthidae*	223	0.0114	6	2.67
Coleo	Curculionidae*	2	0.0001	1	0.44
	Dryopidae	393	0.0201	32	14.22
	Dytiscidae	1040	0.0531	47	20.89
	Elmidae	144375	7.3674	169	75.11
	Gyrinidae	2785	0.1421	60	26.67
	Halplidae	203	0.0104	16	7.11
	Helodidae	302	0.0154	32	14.22
	Helophoridae	29	0.0015	9	4.00
	Hydraenidae	4994	0.2548	149	66.22
	Hydrophilidae*	42	0.0021	3	1.33
	Hydroscaphidae*	2	0.0001	1	0.44
	Psephenidae*	2	0.0001	1	0.44
Odon	Aeshnidae	58	0.0030	9	4.00
	Calopterygidae	232	0.0118	30	13.33
	Coenagrionidae	200	0.0102	12	5.33
	Cordulegasteridae	85	0.0043	22	9.78
	Corduliidae*	65	0.0033	4	1.78
	Gomphidae	802	0.0409	46	20.44
	Lestidae	189	0.0096	8	3.56
	Libellulidae*	7	0.0004	2	0.89
	Platynemididae	110	0.0056	9	4.00
Megaio	Sialidae	300	0.0153	35	15.56

		abon	%abon	occ	%occ
Hemip	Corixidae	1141	0.0582	27	12.00
	Gerridae	285	0.0145	13	5.78
	Hebridae*	8	0.0004	3	1.33
	Hydrometridae*	14	0.0007	4	1.78
	Mesoveliidae	33	0.0017	9	4.00
	Nauconidae	1738	0.0887	37	16.44
	Nepidae*	9	0.0005	5	2.22
	Notonectidae*	20	0.0010	5	2.22
	Pleidae*	2	0.0001	1	0.44
	Veliidae	30	0.0015	8	3.56
Dipt	Anthomyiidae	275	0.0140	32	14.22
	Athericidae	8511	0.4343	176	78.22
	Blephariceridae	1927	0.0983	63	28.00
	Ceratopogonidae	3163	0.1614	135	60.00
	Chaoboridae*	2	0.0001	1	0.44
	Chironomidae	444401	22.6778	224	99.56
	Culicidae*	5	0.0003	2	0.89
	Dixidae	144	0.0073	25	11.11
	Dolichopodidae	43	0.0022	12	5.33
	Empididae	6927	0.3535	184	81.78
	Ephydriidae*	21	0.0011	3	1.33
	Limoniidae	8598	0.4388	196	87.11
	Orphnephilidae*	8	0.0004	1	0.44
	Psychodidae	5231	0.2669	110	48.89
	Ptychopteridae	93	0.0047	7	3.11
	Rhagionidae	84	0.0043	12	5.33
	Sciomyzidae*	2	0.0001	1	0.44
	Simuliidae	60304	3.0773	199	88.44
Lépidop	Stratiomyidae	122	0.0062	22	9.78
	Syrphidae*	8	0.0004	3	1.33
	Tabanidae	2604	0.1329	67	29.78
	Tipulidae	1184	0.0604	99	44.00
	Lépidop	15	0.0008	7	3.11
Planip	Osmyliidae*	8	0.0004	4	1.78
	Sisyridae*	22	0.0011	4	1.78
Crus	Asellidae	941	0.0480	20	8.89
	Astacidae*	4	0.0002	1	0.44
	Atyidae*	282	0.0144	3	1.33
	Gammaridae	96158	4.9069	149	66.22
Achètes	Erpobdellidae	1438	0.0734	79	35.11
	Glossiphoniidae	1106	0.0564	53	23.56
	Hirudidae*	7	0.0004	3	1.33
	Piscicolidae	77	0.0039	11	4.89
Oligo	Oligochètes	88783	4.5306	205	91.11
Mollus	Ancylidae	11812	0.6028	92	40.89
	Hydrobiidae	108520	5.5378	38	16.89
	Lymnaeidae	850	0.0434	15	6.67
	Margaritiferidae*	2	0.0001	1	0.44
	Neritidae	7376	0.3764	19	8.44
	Physidae*	86	0.0044	5	2.22
	Planorbidae	371	0.0189	21	9.33
	Sphaeriidae	7697	0.3928	69	30.67
	Unionidae*	4	0.0002	2	0.89
	Valvatidae*	51	0.0026	6	2.67
Planaires	Viviparidae*	472	0.0241	1	0.44
	Planaires	18997	0.9694	134	59.56
	Cnidaires	360	0.0184	17	7.56
	Gordiacés*	3	0.0002	1	0.44
		1984774			
	Hydracariens**	23763	1.1877	184	81.78
	Nemertiens**	1375	0.0687	14	6.22
	Hyménoptères**	4	0.0002	2	0.89
	Nematodes**	112	0.0056	17	7.56

Tableau 4.3 - Abondance et occurrence des 119 taxons présents dans les 225 relevés effectués dans 76 stations de référence avec une détermination à la famille.

* taxons éliminés pour les analyses multivariées, ** taxons éliminés pour l'ensemble des analyses statistiques effectuées (cf. texte).

Explication de la structure faunistique

En se focalisant sur les 2 premiers axes de l'AFC, nous avons effectué des régressions et des ANOVA pour étudier plus précisément les effets liés à l'écorégion, au rang de Strahler, à la saison, à l'altitude et à la pente (Tableau 4.4).

Les résultats montrent que les variations observées selon l'axe 1 s'expliquent pour une grande part par l'effet écorégion et le gradient altitudinal, dominant par rapport au gradient longitudinal. Selon l'axe 2, l'effet écorégion reste dominant, tandis que l'effet rang augmente et que les effets saisonniers, altitudinaux ou liés à la pente ne sont plus significatifs. Cet axe pourrait s'expliquer par des caractéristiques régionales d'ordre géologique (cours d'eaux alcalins des tables calcaires) ou climatiques (influençant la variabilité hydrologique).

Variable expliquée	Variables explicatives	Modèle	R2	p
F1 AFC	Ecorégion	ANOVA	83 %	<10-3
F1 AFC	Rang	ANOVA	10 %	<10-3
F1 AFC	Saison	ANOVA	21 %	<10-3
F1 AFC	Pente(ln)	Reg. Lin.	44 %	<10-3
F1 AFC	Altitude(sqr) + Pente (ln)	Reg. stepwise	77 %	<10-3, Pente NS
F2 AFC	Ecorégion	ANOVA	53 %	<10-3
F2 AFC	Rang	ANOVA	29 %	<10-3
F2 AFC	Saison	ANOVA		NS
F2 AFC	Pente(ln)	Reg. Lin.		NS
F2 AFC	Altitude(sqr) + Pente (ln)	Reg. stepwise		NS

Tableau 4.4 – Analyse des effets de différents facteurs sur les axes 1 et 2 de l'AFC du tableau d'abondance faunistique (transf. log) [225 relevés x 81 taxons].

Effet de l'altitude

Compte tenu de la forte relation existant entre l'altitude et les écorégions (cf § IV.3.2), on peut se demander si le fort pourcentage de variation expliqué par les écorégions pour le 1^{er} axe de l'analyse reflète simplement une différence d'altitude entre les écorégions. Aussi, nous avons testé l'effet écorégion sur les résidus de la régression avec l'altitude, pour voir si celui-ci reste significatif une fois l'influence de l'altitude éliminée. Les résultats montrent que le pourcentage de variance expliquée diminue de 83% à 29%, ce qui signifie que l'altitude explique une part importante des variations selon l'axe 1 ; cependant l'effet écorégion reste très significatif ($p < 10^{-3}$) même une fois éliminé l'effet de l'altitude.

Cette forte influence du facteur altitude dans l'explication de la variabilité écorégionale est logique par construction, puisque comme nous l'avons signalé le relief intervient de façon primordiale dans la délimitation des HER-1. Cependant, une série de questions importantes découlent de cette observation : est-ce que l'effet de l'altitude intervient de la même manière dans toutes les écorégions ? Autrement dit, suffit-il de connaître l'altitude d'une station de prélèvement pour prévoir sa faune, quelque soit la région dans laquelle elle se situe ? Et peut-on améliorer la prédiction de la faune d'une station en faisant intervenir l'altitude de la station dans un modèle ?

Pour tenter de répondre à ces questions, une analyse de covariance (ANCOVA) a été effectuée sur l'axe F1 de l'AFC du tableau faunistique. Cette analyse nous permet :

- (1) de tester si l'effet de l'altitude est "partagé" entre les 6 écorégions, et
- (2) de quantifier le pourcentage de variation intra-écorégion lié à l'altitude.

Le modèle correspondant à l'ANCOVA est le suivant : $F1 = a_{\text{écoreg}} + b \cdot \text{sqrALT} + \varepsilon$, avec $a_{\text{écoreg}}$, ordonnée à l'origine dépendant de l'écorégion, et b , pente du modèle, commune à toutes les écorégions.

La figure 4.4 représente par écorégion les coordonnées de F1 en fonction de l'altitude. Cette figure montre qu'il existe une relation entre l'altitude et la position du relevé sur F1 pour toutes les écoregions, même pour de faibles variations d'altitude comme dans le Massif Armoricaïn ou les Tables

Calcaires, sauf pour les Alpes internes. Ce résultat est assez paradoxal, puisqu'il n'y a pas de relation entre la composition faunistique et l'altitude justement dans la région pour laquelle la variation d'altitude entre les différentes stations est la plus forte !.

Avant d'effectuer l'analyse de covariance proprement dite, on commence par tester l'interaction entre les facteurs « écorégion » et « altitude ». Cette interaction étant significative ($p=0$), on ne peut pas considérer que la valeur de la pente b du modèle d'analyse de covariance soit égale pour toutes les écorégions, ce qui confirme bien l'observation ci-dessus.

On peut néanmoins calculer le pourcentage de variation intra-écorégion lié à l'altitude : sachant que la pourcentage d'explication associé au modèle est égal à 88 % et que celui associé à l'effet écorégion seul est égal à 83 % (Cf. tableau 4.4), on calcule (i) la valeur de la variance intra-écorégion égale à 17% (soit $100\% - 83\%$), et (ii) la part de cette variance intra-régionale expliquée par l'altitude, égale à 5% ($88\% - 83\%$). En ramenant cette valeur à 100%, on en déduit que globalement, l'altitude explique 29.4% (soit $5 * 100 / 17$) de la variabilité intra-écorégion.

Ces résultats sont particulièrement intéressants, car ils confirment l'existence d'un effet « régional » de l'altitude, qui peut être prépondérant sur l'effet « local ». Autrement dit, ce n'est pas tant l'altitude de la station qui intervient pour expliquer son contenu faunistique, mais le contexte altitudinal de la région dans laquelle elle se situe. Cet effet est particulièrement net dans les Alpes, puisque malgré la forte différence altitudinale entre les stations, l'influence locale de ce facteur (i.e. l'altitude de la station elle-même) est pratiquement nulle sur la faune.

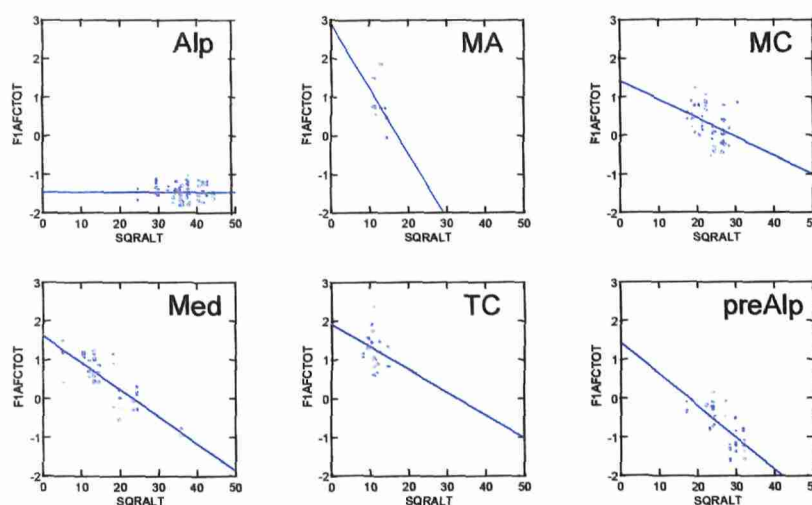


Figure 4.4 – Représentation, en fonction de l'altitude et par écorégion, des coordonnées des relevés sur l'axe 1 issu de l'AFC du tableau d'abondance faunistique (trans. log) [225 relevés x 81 taxons]

Ceci peut s'expliquer par l'influence du contexte régional de haute montagne sur des caractéristiques fondamentales des écosystèmes, comme le régime hydrologique à composante nivo-glaciaire, l'énergie, les conditions hydrauliques, la granulométrie, les caractéristiques physique-chimiques et thermiques, qui varient finalement assez peu le long de cours d'eau qui dévalent très rapidement dans des vallées à pente forte. En revanche, dans des régions de plaine ou de moyenne montagne, l'altitude peut influencer plus directement sur la faune à travers température, ou indirectement au travers des caractéristiques de l'habitat physique (pente, granulométrie) qui lui sont corrélées.

Ceci suggère que *dans certaines régions*, on pourra améliorer la prédiction de la faune en introduisant la variable altitude dans des modèles de distribution. Au vu de ces premiers résultats, il semble évident que des modèles reliant la faune à l'altitude gagneront en capacité prédictive s'ils sont développés dans un cadre hydro-écorégional adéquat.

Enfin, il faut rappeler que pour des raisons purement statistiques, nous avons dû effectuer des regroupement de HER pour constituer les « écorégions » testées ici. Il est tout à fait possible qu'une part encore significative de la variance résiduelle puisse encore être expliquée par une partition respectant les HER-1 telles qu'elles sont définies, notamment dans les trois ensembles Massif Central, Préalpes et Méditerranée.

Effet de la pente

Nous avons également utilisé des analyses de covariance afin d'évaluer l'influence de la pente au sein de chaque écorégion : cette influence apparaît très peu marquée dans les Alpes, davantage dans les autres régions, le coefficient de la droite de la relation dans les pre-Alpes étant de signe opposée à toutes les autres (figure 4.5).

L'interaction entre pente et écorégion est significative comme pour l'altitude, ce qui signifie que l'effet de la pente est différent selon les écorégions. En procédant de même que pour l'altitude, on calcule que le pourcentage de variation intra-écorégion lié à la pente est égal à 11.8%, c'est à dire sensiblement plus faible que pour l'altitude.

On retrouve donc le même résultat paradoxal, d'une influence très faible de la pente dans une région où la variation locale de ce paramètre est très forte. Dans les Alpes, ni l'altitude ni la pente de la station ne conduisent à des variations significatives de la faune. Bien entendu, cette remarque doit être relativisée : la faune alpine apparaît très homogène au regard de la variabilité totale d'un jeu de données qui représente assez bien l'hétérogénéité du territoire national. Une analyse spécifique des milieux Alpins ne manquerait pas de faire ressortir des différences internes à cette région.

En revanche, l'influence de la pente apparaît plus importante dans des régions de plaine comme le Massif Armoricain et les Tables Calcaires : de faibles reliefs dans un contexte plat peuvent conduire à des variations significatives de l'habitat physique et des peuplements. Là encore, s'il elle est confirmée, cette observation peut s'avérer importante pour développer des modèles de distribution faisant intervenir la pente dans les régions où elle apporte une part significative d'explication.

Enfin, nous n'avons pour l'instant pas d'explication à la relation « inverse » de la pente dans la région des PréAlpes ; il pourrait s'agir d'un biais lié à la représentation inégale des rangs ; ce point sera analysé en détail.

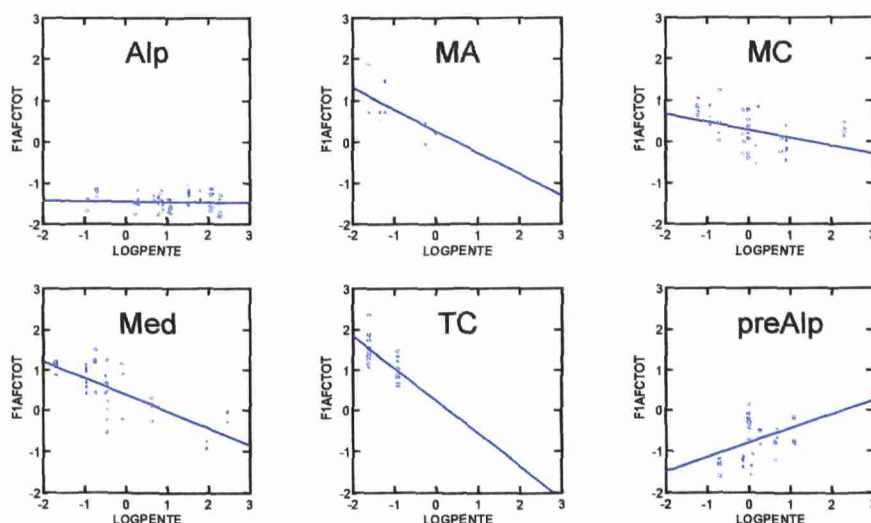


Figure 4.5 – Représentation, en fonction de la pente par écorégion, des coordonnées des relevés sur l'axe 1 issus de l'AFC du tableau d'abondance faunistique (transf. log) [225 relevés x 81 taxons]

IV.3.3 – Analyse de la variabilité faunistique inter et intra-écorégionale

L'analyse inter-écorégion, en se focalisant sur l'effet écorégion va nous permettre de définir des assemblages faunistiques caractéristiques de chaque écorégion. L'analyse intra-écorégion, en éliminant au contraire l'effet écorégion, nous permettra d'étudier la variabilité au sein des écorégions.

IV.3.3.1 – Différenciation inter-écorégionale

La variance expliquée par l'analyse inter-région représente 23.9% de l'inertie du tableau total. Ainsi, bien que cet effet soit important, la variabilité intra-régionale reste supérieure à celle inter-régionale.

Le plan 1-2 de l'AFC inter-écorégion correspondante est très semblable à celui de l'AFC globale (Figure 4.3). Aussi, nous ne revenons pas sur son interprétation qui est identique.

La représentation des abondances régionales ordonnées selon l'axe 1 de cette analyse (figure 4.6) permet d'identifier 5 groupes de taxons représentant des assemblages faunistiques caractérisés par différents critères selon leur répartition géographique : (1) absent ou peu représenté dans les Tables Calcaires, (2) ubiquiste, (3) absent ou peu représenté dans les Alpes, (4) absent ou peu représenté dans les Alpes et dans les préalpes, (5) absent de ces deux dernières régions et dominant dans les Tables Calcaires.

En effectuant une représentation similaire à celle de la figure 4.6 mais en ordonnant selon l'axe 2 de l'analyse, nous avons pu affiner la définition des groupes faunistiques en 7 groupes. Ces groupes sont identifiés sur le plan factoriel 1-2 des taxons de l'AFC inter-écorégions (figure 4.7).

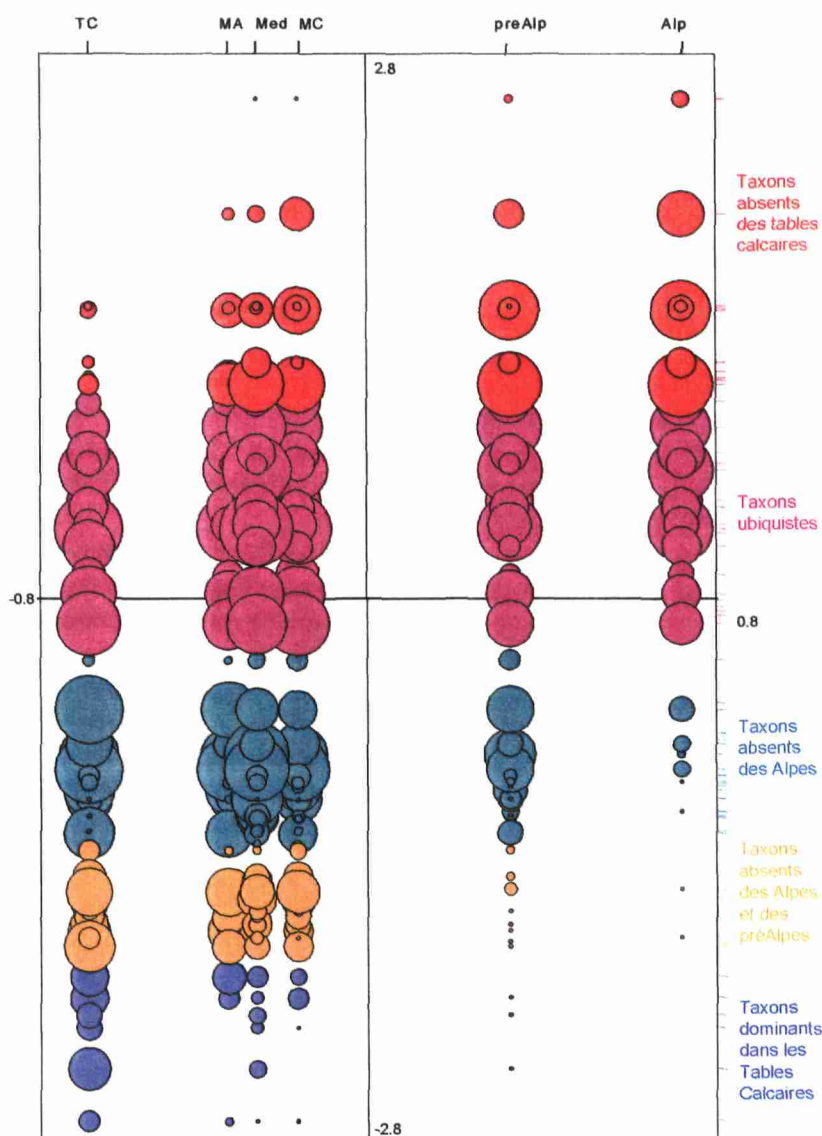


Figure 4.6 - Représentation de l'abondance (log) moyenne écorégionale des 81 taxons ordonnées selon l'axe 1 de l'AFC inter-régions effectuée à partir du tableau d'abondance faunistique (trans. log) [225 relevés x 81 familles].

Les groupes 1 et 2 de la figure 4.7 sont identiques à ceux identifiés sur la figure 4.6. Le groupe 1 rassemble des taxons absents, très rares ou très peu abondants dans les Tables Calcaires et qui sont fréquents ou abondants dans les régions alpines ou pré-alpines, ou bien uniquement relativement fréquents dans les Alpes. Il est constitué essentiellement de Plécoptères mais aussi d'Ephémères (Heptageniidae) et de Diptères (Blephariceridae, Stratiomyidae, Tipulidae). Le groupe 2 rassemble des taxons présents dans toutes les régions : Chironomidae, Planaires, Simuliidae, Oligochètes.

A partir des 3 autres groupes identifiés figure 4.6, deux groupes supplémentaires ont été définis. Les groupes 3, 4 et 5 ont les mêmes caractéristiques faunistiques : le groupe 3 est constitué de taxons absents, rares ou très peu abondants dans les Alpes ; dans le groupe 4 les taxons sont absents, rares ou très peu abondants dans les Préalpes ; dans le groupe 5, les taxons sont, de plus, dominants dans les Tables Calcaires.

Le groupe 6 est caractérisé par des taxons absents des Alpes, absents, rares ou très peu abondants dans les Préalpes et qui sont toujours présents en Méditerranée avec des fréquences plus élevées que dans les 3 autres régions. Enfin, le groupe 7 est caractérisé également par des taxons absents des Alpes, absents, rares ou très peu abondants dans les Préalpes, mais à la différence du groupe 6, ils sont aussi absents, rares ou très peu abondants en méditerranée et sont les plus fréquents dans les Tables Calcaires, le Massif Armoricain ou le Massif Central.

Quatre taxons situés vers le milieu du plan factoriel n'ont pas été rattachés à l'un de ces groupes du fait leur répartition particulière : les Odontoceridae et les Leptophlebididae sont absents pour les premiers ou très peu abondants pour les seconds dans les Alpes et le Massif Armoricain, les Dolichopodidae sont absents à la fois des Tables Calcaires et des Préalpes et les Helophoridae sont absents à la fois des Préalpes et des Alpes ; ces quatre taxons sont de plus très peu abondants partout (cf. Tableau 2.1).

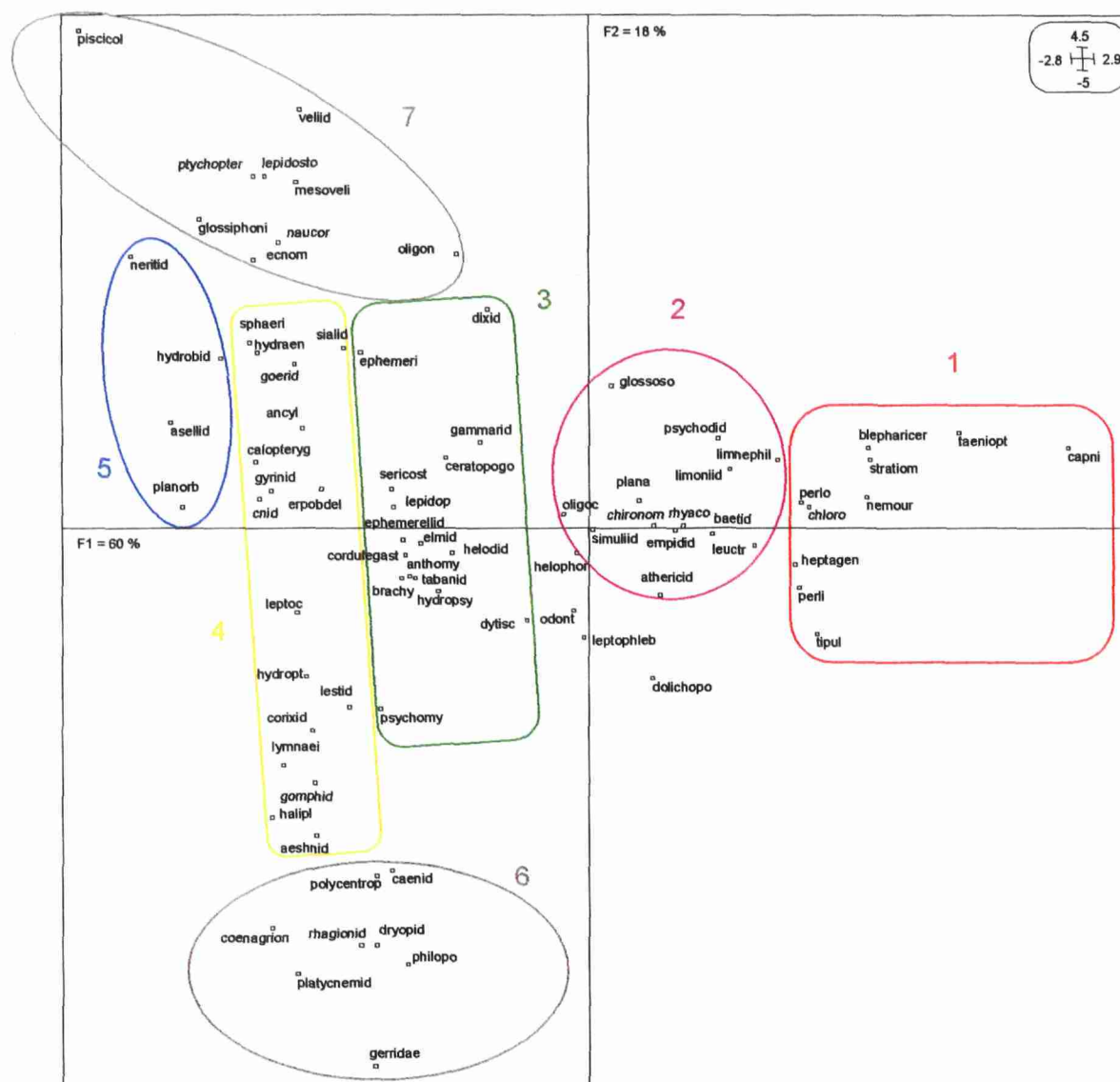


Figure 4.7 - AFC inter-écorégions effectuée à partir du tableau d'abondance faunistique (trans. log) [225 rel x 81 taxons] : plan factoriel 1-2 des taxons avec identification de groupes faunistiques caractéristiques.

Cette analyse a bien confirmé l'existence d'un effet régional que l'on a pu mettre en lien avec des particularités faunistiques sur la base à la fois des fréquences et des abondances régionales des taxons (logique de l'analyse des correspondances). Le tableau 4.5 résume la répartition écorégionale des taxons appartenant aux 7 groupes définis, selon 4 classes de fréquence : rare, présent, fréquent, très fréquent.

Ce type d'analyse répond bien à la notion de «peuplement de référence» puisqu'il donne une probabilité de présence d'un taxon dans une région donnée. L'analyse pourrait être étendue à la répartition par rang dans chaque région à condition de disposer d'un échantillonnage suffisant et relativement équilibré entre HER et rangs.

(page suivante)

Tableau 4.5 – Répartition écorégionale des taxons rattachés aux 7 groupes faunistiques identifiés à partir de l'AFC inter-écorégions effectuée sur le tableau d'abondance faunistique [225 relevés x 81 taxons-famille] .

- : absent ou très rare (<10% des relevés de la région concernée); x : présent (10-40% des relevés de la région concernée); xx : fréquent (40-70% des relevés de la région concernée); xxx : très fréquent (>70% des relevés de la région concernée)

Groupe faunistique	taxons	TC (n=22)	MA (n=10)	MC (n=46)	Alp (n=64)	préAlp (n=42)	Med (n=41)
1	Taeniopterygidae	-	x	xx	xxx	x	x
1	Nemouridae	x	xx	xxx	xxx	xxx	xx
1	Capniidae	-	-	-	x	-	-
1	Perlidae	x	xxx	xxx	xxx	xxx	x
1	Perlidae	-	xx	xx	xxx	xxx	xx
1	Chloroperiidae	-	x	xx	xx	x	x
1	Heptageniidae	x	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
1	Blépharoceridae	-	-	x	xx	x	x
1	Tipulidae	x	-	x	xx	xx	xx
1	Stratiomyidae	-	-	-	x	-	-
2	Leuctridae	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
2	Rhyacophilidae	xxx	xx	xxx	xxx	xxx	xxx
2	Glossosomatidae	xx	xx	xxx	xx	x	x
2	Limnephilidae	xxx	xxx	xxx	xx	xxx	xx
2	Baetidae	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
2	Limonidae	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
2	Psychodidae	xx	x	xx	xx	x	xx
2	Simuliidae	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
2	Chironomidae	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
2	Empididae	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
2	Athericidae	xx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
2	Oligochètes	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
2	Planaires	xxx	-	xx	xx	xx	xx
3	Hydropsychidae	xxx	xxx	xxx	-	xxx	xxx
3	Psychomyiidae	xx	x	xx	-	x	xxx
3	Brachycentridae	-	xxx	xxx	-	-	xx
3	Sericostomatidae	xxx	xxx	xxx	-	xx	xx
3	Ephemerellidae	xxx	xxx	xxx	-	xx	xxx
3	Ephemerae	xxx	xxx	xxx	-	x	x
3	Dytiscidae	x	x	xx	-	x	x
3	Elmidae	xxx	xxx	xxx	x	xxx	xxx
3	Helodidae	x	-	x	-	-	x
3	Cordulegasteridae	x	-	x	-	-	x
3	Dixidae	xx	-	-	x	-	-
3	Ceratopogonidae	xxx	xx	xxx	x	xx	xx
3	Tabanidae	xx	-	xx	-	x	x
3	Anthomyiidae	x	x	x	-	-	x
3	Lépidop	-	x	-	-	-	-
3	Gammaridae	xxx	xxx	xx	x	xxx	xxx
4	Hydroptilidae	xx	-	-	-	-	xx
4	Goenidae	xx	xxx	xxx	-	-	x
4	Leptoceridae	xxx	xx	xx	-	-	xx
4	Gynidae	xx	xx	xx	-	-	xx
4	Halipidae	x	-	-	-	-	x
4	Hydraenidae	xx	xx	xxx	xx	xx	xxx
4	Calopterygidae	x	-	x	-	-	x
4	Lestidae	x	-	-	-	-	x
4	Aeshnidae	x	-	-	-	-	x
4	Gomphidae	xx	-	x	-	-	xx
4	Sialidae	xx	x	x	-	-	x
4	Conidae	x	x	x	-	-	x
4	Empobdellidae	xx	x	xxx	-	x	xx
4	Lymnaeidae	x	-	-	-	-	x
4	Ancylidae	xxx	xxx	xxx	-	-	xx
4	Sphaeriidae	xxx	xx	xx	-	-	xx
4	Cnidaires	x	-	-	-	-	x
5	Nentidae	xx	-	-	-	-	x
5	Asellidae	xx	-	-	-	-	x
5	Hydrobiidae	xx	xx	x	-	-	x
5	Planorbidae	xx	-	-	-	-	x
6	Philopotamidae	-	-	x	-	x	xxx
6	Polycentropodidae	x	-	xx	-	x	xxx
6	Caenidae	xx	xx	x	-	x	xxx
6	Dryopidae	-	-	x	-	-	xx
6	Platycnemididae	-	-	-	-	-	x
6	Coenagrionidae	x	-	-	-	-	x
6	Geridae	-	-	-	-	-	x
6	Rhagionidae	-	-	-	-	-	x
7	Ecnomidae	xx	xx	-	-	-	-
7	Lepidostomatidae	xxx	xxx	xx	-	-	-
7	Oligoneuridae	-	x	-	-	-	-
7	Naucoridae	xx	xx	-	-	-	x
7	Mesoveliidae	-	x	-	-	-	-
7	Velidae	-	x	-	-	-	-
7	Ptychopteridae	x	-	-	-	-	-
7	Glossiphoniidae	xxx	xx	xx	-	-	x
7	Piscicolidae	x	x	-	-	-	-

IV.3.3.2 – Différenciation intra-écorégionale

La décomposition de l'inertie associée à l'AFC permet de quantifier et tester la part des différents effets « écorégion », « rang » et « saison » (tableau 4.6) sur la structure du tableau faunistique.

Effet testé	reg	rang	reg+ran g	reg/rang	rang/re g	saiso n	reg+saiso n	reg/sais on	saison/r eg
% inertie expliquée	23.9	8.2	29.3	21.1	5.4	6.4	26.7	20.4	2.8

Tableau 4.6 - Décomposition de l'inertie associée à l'AFC du tableau d'abondance faunistique (transf. log) [225 relevés x 81 taxons] : analyses des effets combinés (écorégion x rang) et (écorégion x saison).

reg : effet écorégion, reg +rang : effet additif écorégion + rang, reg/rang : effet écorégion sachant rang, rang/reg : effet rang sachant écoregion. Tous les tests sont significatifs avec $p < 10^{-3}$.

Comme on pouvait s'y attendre au vu du plan factoriel de l'AFC globale, l'effet écorégion est nettement plus fort (23.9%) que les effets « rang » (8.2 %) et « saison » (6.4%) qui sont tout de même significatifs. Néanmoins, si on exclut l'effet rang (reg/rang), l'effet écorégion diminue, la variance expliquée passant de 23.9% à 21.1 %. De même, l'effet rang diminue si on exclue l'effet écorégion (de 8.2 à 5.4%) mais reste significatif. Ceci met en évidence l'existence d'une interaction entre les effets écorégions et rang. L'interaction entre les effets écorégions et saison apparaît encore plus importante puisque la diminution de l'effet écorégion est encore plus sensible si on exclut l'effet saison (de 23.9% à 20.4%) et inversement si on exclut l'effet écorégion de l'effet saison (de 6.4% à 2.8%).

La question se pose maintenant de savoir si ces effets « rangs » et « saisons » sont identiques dans les différentes écorégions, ou bien si comme pour la pente et l'altitude il convient d'analyser ces effets par région. Une AFC intra-écorégion permet de représenter l'effet des facteurs rang et saison à l'intérieur de chaque région. L'histogramme des valeurs propres (figure 4.8A) montre que cette analyse est relativement peu structurée, les deux premiers axes dominants ne représentant que 12 % de l'inertie totale. Les figures 4.8B et 4.9B représentent les relevés regroupés respectivement par région et rang, et par région et saison.

Globalement, il apparaît que ce sont les régions Méditerranée, Tables Calcaires et Massif Armoricaire qui présentent la plus forte variabilité interne (étendue des étoiles dans le plan). Les stations méditerranéennes se distribuent le long de l'axe 1 tandis que celle du Massif Armoricaire et des Tables Calcaires s'étendent plutôt le long de l'axe 2. Les Alpes et les Préalpes sont les régions les moins variables.

Effet rang

L'effet rang apparaît essentiellement selon l'axe 1 (Figure 4.8) avec notamment en Méditerranée, mais aussi dans le Massif Central une distinction des rangs 5. Dans les Alpes et les Préalpes, moins variables, l'effet rang est moins clair. Cette représentation illustre bien l'existence d'interaction entre les effets écorégions et rang puisque l'on observe effectivement que l'effet rang ne se traduit pas de la même façon dans toutes les régions. Ainsi, un rang 2 dans les Tables Calcaires correspondrait à un rang 5 en région Méditerranée. Par ailleurs, pour les régions où plusieurs rangs sont représentés, la position de ces derniers n'est pas graduelle selon les axes de l'analyse.

Effet saison

De même, sur la représentation des relevés par écorégion et saison (figure 4.9), on observe également que la variabilité saisonnière est différente selon les régions (ce que l'on avait déjà observé au cours d'une analyse précédente portant sur 3 grandes régions climatiques : Atlantique, Méditerranée,

Montagne). Si les campagnes de Printemps et d'Été se distinguent nettement dans les Tables Calcaires et le Massif Armoricaïn et de façon moins marquée dans les préAlpes, celles d'Automne se distinguent dans les Alpes et celle d'Hiver en Méditerranée.

Enfin, des ANOVA effectuées sur les coordonnées factorielles confirment la prédominance de l'effet du rang de Strahler (ANOVA : $r^2=27\%$, $p<10^{-3}$) sur celui de la saison (ANOVA, $r^2=7\%$, $p=10^{-3}$) pour expliquer les variations observées selon le 1^{er} axe, tandis que seul l'effet saisonnier est tout juste significatif ($r^2=4\%$, $p=0.04$) pour expliquer les variations selon le 2^{ème} axe.

Variations saisonnières des métriques quantitatives

Une analyse des variations saisonnières de différents indices faunistiques révèle que l'abondance faunistique est significativement supérieure en été si on considère l'ensemble des relevés. En revanche, à l'échelle des écorégions, ceci ne reste valable que dans les Tables Calcaires et en Méditerranée où les densités estivales et automnales sont plus élevées que celles hivernales et printanières.

La richesse taxonomique est significativement plus faible en hiver par rapport aux autres saisons si on considère l'ensemble des relevés, mais elle n'est significativement supérieure en été que dans les Tables Calcaires. Enfin, que ce soit l'indice de diversité ou celui d'équitabilité, aucune variation saisonnière n'est observée, et ce à l'échelle des écorégions ou en considérant l'ensemble des relevés.

Implication pour la typologie et les conditions de référence

Les observations précédentes sont importantes dans la mesure où elles suggèrent les regroupements de types qui seront possibles pour la définition des conditions de référence, et les saisons à privilégier pour l'échantillonnage. Nous avons signalé dans les chapitres précédents et à l'annexe 6 que des regroupements de types seraient sans doute possible au vu des données faunistiques, en regroupant les types « HER x Rang » qui présentent des conditions de référence similaires pour un « élément de qualité » donné au sens de la DCE.

Tout en soulignant le caractère partiel et préliminaire de l'analyse précédente, compte tenu du jeu de données restreint dont nous disposons, les suggestions suivantes peuvent être formulées au regard de la variabilité globale des *invertébrés* (ces remarques ne seront sans doute pas valables pour les poissons).

Concernant les rangs :

- La variabilité est assez faible dans les Alpes et les PréAlpes, et des regroupements importants pourront sans doute être effectués des rangs 1 à 5, voire 6.
- Dans le Massif Central, les rangs 2, 3 et 4 apparaissent très similaires ; les rangs 5 et supérieurs devront certainement être individualisés. La variabilité du rang 1 reste à évaluer (trop peu de stations).
- Dans la région Méditerranée, le rang 5 apparaît nettement différent, mais il s'agit peut-être d'un biais lié au regroupement de deux HER-1 (Cévennes et Méditerranée), les rangs 5 se situant dans cette deuxième HER.
- Enfin dans les régions de plaine (Tables Calcaires et Armoricaïn) les faibles rangs apparaissent déjà très différenciés, et leur séparation sera sans doute nécessaire. Toutefois dans ces régions l'influence respective (ou combinée) du rang et de la pente reste à évaluer.

Concernant les saisons, on retrouve pratiquement les mêmes différences régionales:

- Relative homogénéité dans les massifs montagneux : Alpes, PréAlpes et Massif Central au regard de la variabilité globale.
- Différences marquées en plaine, et plus particulièrement dans le Massif Armoricaïn.
- Forte variabilité également en climat Méditerranéen, où les prélèvements d'hiver sont nettement différents.

On notera, mais ce n'est pour l'instant qu'une hypothèse, que cette variabilité faunistique saisonnière semble être corrélée à une variabilité hydrologique, celle-ci étant nettement plus marquée dans le Massif Armoricaïn que dans les Tables Calcaires, et en climat Méditerranéen par rapport aux milieux montagnards.

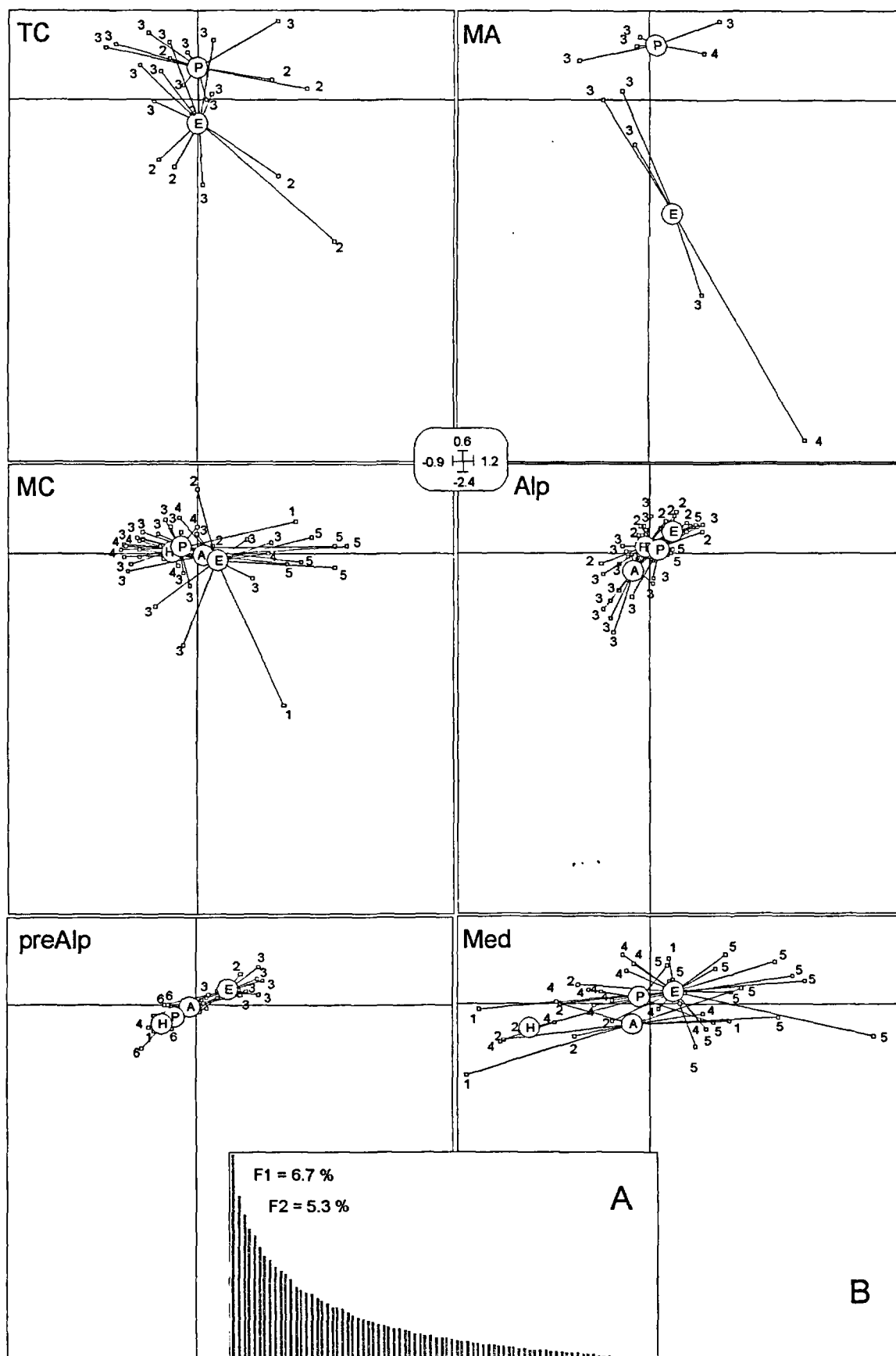


Figure 4.9 - Etude de l'effet saison par écorégion à partir du tableau d'abondance faunistique (transf. log) [225 relevés x 81 taxons-famille] : AFC intra-écorégion.

A – Histogramme des valeurs propres. B - Plan 1-2 des relevés, représentation multifenêtrée par écorégion, les relevés sont regroupés pour chaque région selon leur saison et leur étiquette fait référence au rang (1,2,3,4,5,6).

IV.3.4 – Comparaison entre typologie écorégionale et classification faunistique

On aura noté précédemment que la classification écorégionale n'explique finalement qu'une part relativement modeste, environ 1/4, de la variabilité totale du jeu de données faunistique. Cette variabilité écorégionale est toutefois largement prépondérante, puisque les autres facteurs non régionaux testés, comme le rang et la saison, n'apportent qu'une faible part d'explication supplémentaire. Même si l'on ajoute l'effet rang aux écorégions, ce qui correspond à notre hypothèse de base pour la typologie, on n'obtient que 30% de variance expliquée (cf tableau 4.6).

La question se pose dès lors de savoir si cette typologie est pertinente pour définir avec suffisamment de précision des peuplements de référence, autrement dit si d'autres classifications n'aboutiraient pas à de meilleurs résultats. Pour cela, on peut partir de l'hypothèse, difficilement contestable, que la meilleure classification faunistique possible consiste à classer les relevés directement à partir de leur faune, et non à partir de variables abiotiques, quelles qu'elles soient, supposées déterminer la distribution des peuplements.

Nous allons donc confronter notre typologie écorégionale à deux classifications faunistiques obtenues par des méthodes différentes, et évaluer la « performance » de cette typologie, en terme de variance expliquée, par comparaison avec ces classifications supposées optimales. Pour que la comparaison soit valable, il faut avoir le même nombre de groupes dans les deux cas : nous fixerons donc à 6 le nombre de groupes générés par les classifications faunistiques pour les comparer aux 6 « écorégions » de notre étude.

IV.3.4.1 – Comparaison avec une classification selon la méthode de Ward

Sur le tableau d'abondance faunistique transformé log [225 relevés x 81 taxons] nous avons effectué une classification ascendante hiérarchique (CAH) selon la méthode de Ward (dites aussi "sur le critère du moment d'ordre 2") couramment utilisée en écologie pour définir des groupes de relevés sur la base de leur contenu faunistique. La méthode de Ward travaille directement sur le tableau de données et non sur une matrice de distance comme le font les autres méthodes de classifications hiérarchiques. Le principe consiste à optimiser à chaque pas de l'algorithme la classification obtenue en cherchant à minimiser la perte de l'inertie inter-classes résultant de l'agrégation de deux éléments (Roux, 1985 ; Lebart et al., 1995).

A partir de cette classification, nous avons retenu 6 groupes de relevés. De façon à rendre comparable les variances inter-écorégions et inter-groupes, nous calculons le pourcentage d'inertie inter-groupes de la même façon que nous avons calculé le pourcentage d'inertie inter-écorégions à partir du tableau d'abondance de l'AFC.

La variance expliquée par ces 6 groupes faunistiques est à 24.6%, ce qui est à peine plus élevé que le pourcentage d'inertie inter-écorégion (égal à 23.9%). Autrement dit, la « performance » de la typologie écorégionale équivaut à 97% de celle de la classification faunistique réalisée à l'aide d'une méthode particulièrement fiable et robuste.

Pour autant, ces deux classifications ne sont pas identiques. La concordance entre les groupes définis par la classification de Ward et les écorégions peut se mesurer par le pourcentage de relevés de chaque écorégion dans les différents groupes (Figure 4.10).

Aucun groupe ne correspond exactement à une écorégion, mais certaines écorégions sont tout de même très bien représentées dans certains groupes. Ainsi, tous les relevés des Tables Calcaires sont rattachés au groupe 4 et représentent 73% des relevés de ce groupe, la majorité des relevés du Massif Central (76%) sont rattachés au groupe 1 et représentent 78% des relevés de ce groupe, 51% des relevés de la région Cévennes-Méditerranée représentent 78% des relevés du groupe 2, et 62% des relevés de la région pré-Alpine représentent 76% des relevés du groupe 5. Les relevés alpins sont partagés entre les groupes 3 et 6 où ils représentent respectivement 68 et 79% des relevés. Seul le Massif Armoricaire (écorégion la moins représentée) ne "domine" pas dans un groupe.

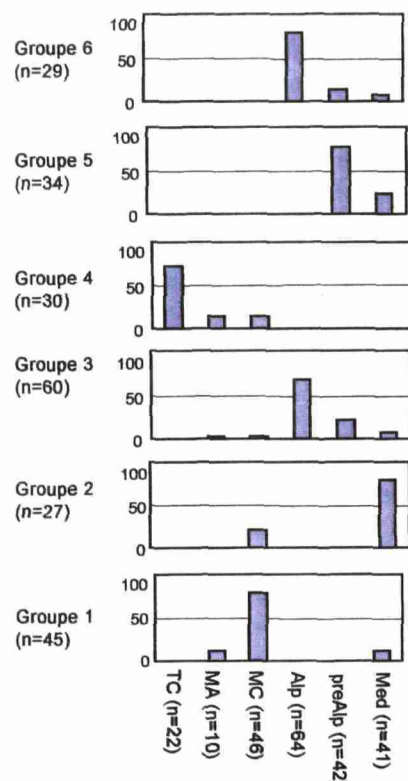


Figure 4.10 – Répartition en % des relevés écorégionaux dans les groupes définis par une classification selon la méthode de Ward sur le tableau d'abondance faunistique (transformé log).

On constate par ailleurs que les différents relevés effectués dans une même station ne se retrouvent pas forcément dans le même groupe, ce qui confirme l'existence d'une variabilité saisonnière. Ce dernier point est très important car il impliquerait, si l'on se basait sur une classification faunistique pour définir la typologie, qu'une même station pourrait changer de type en fonction de la saison, ce qui ne simplifierait pas forcément la tâche des opérationnels.

IV.3.4.2 – Comparaison avec une classification basée sur des critères de similarité

En septembre 2000, le très sérieux « Journal of the North American Benthological Society » a consacré un N° spécial au problème des classifications régionales appliquées aux organismes aquatiques et à la bioindication⁵. Les résultats d'une dizaine d'études portant sur divers organismes (invertébrés, poissons, diatomées...) et réalisées sur différents continents ont été comparés à l'aide d'une classification basée sur des critères de similarité moyenne. L'auteur de cette méthode (Van Sickle, 1997) en recommande l'utilisation pour comparer une classification *a priori* (ici les écorégions) avec une classification *a posteriori* basée sur les données faunistiques. Nous avons donc appliqué cette méthode à nos données.

Méthodes

A partir du tableau de données [225 relevés x 81 taxons], une matrice de similarité entre relevés [225 x 225] est d'abord calculée. Sur les données en présence/absence, nous avons utilisé l'indice de similarité de Sorensen avec la formule suivante (Southwood, 1978 in Rabeni & Doisy, 2000) : $C = 2j / (a+b)$, où j =nombre de taxons communs aux sites, et a et b les nombres de taxons dans les sites A et B. Sur les données d'abondance (en logarithme), nous avons utilisé l'indice de Bray-Curtis qui fonctionne sur le même principe, mais en tenant compte de l'abondance des taxons. A la différence de la méthode de Ward qui travaille directement sur la matrice d'abondance, la classification ascendante hiérarchique effectuée ici travaille sur la matrice de similarité

⁵ Landscape Classifications : Aquatic Biota and Bioassessments. JNABS 19(3), septembre 2000.

en utilisant l'algorithme dit « de distance moyenne » UPGMA (Unweighted Pair Group Method of Agregation). A chaque étape de cet algorithme itératif les 2 relevés les plus proches sont réunis et la distance entre le groupe créé et tous les autres relevés est recalculée. A partir de la classification obtenue nous avons retenu 6 groupes (un groupe devant être constitué d'au moins 3 relevés).

Il est ensuite possible de calculer des matrices de similarité inter-écorégions et inter-groupes (B_i), des matrices de similarité moyenne intra-écorégion et intra-groupe (W_i), une similarité moyenne inter-écorégion et une similarité moyenne inter-groupe (B_m), et finalement une similarité moyenne globale intra-écorégion et une similarité moyenne globale intra-groupe (W_m). L'ensemble de ces calculs et des analyses ont été effectuées en utilisant la programmation Mean Similarity Analysis (MeanSim), version 6.0 (Van Sickle, 1997) téléchargeable à partir du site de l'Environmental Protection Agency. Ce programme permet, outre le calcul des coefficients B_i , B_m , W_i , W_m , d'évaluer la "robustesse" de la classification (Classification Strength) par le rapport $M = B_m/W_m$. Une "bonne" classification se traduit par des coefficients de similarités intra-écorégion (ou intra-groupe) les plus grands possibles et des coefficients de similarité inter-écorégions (ou inter-groupes) les plus petits possibles (les objets d'un même groupe devant être a priori plus similaires entre eux qu'avec des objets de groupes différents). Par conséquent, plus M est petit, meilleure est la classification. La signification de ce coefficient M est testée à l'aide d'un test de permutations, l'hypothèse H_0 correspondant à une absence de structure. On compare ainsi la classification *a priori* sur la base des écorégions avec celle obtenue *a posteriori* sur la faune par la classification ascendante hiérarchique UPGMA, sur la base de 6 groupes dans les deux cas.

Résultats

Les résultats obtenus sont synthétisés dans le tableau 4.7 et par la figure 4.11 où sont représentés des dendrogrammes de similarité moyenne tel qu'il est recommandé par Van Sickle (1997). Pour les 6 écorégions, la similarité intra-groupe est toujours significativement inférieure à celle inter-groupe ($p < 0.0001$ avec 10000 permutations), et ce, que l'on considère les données de présence/absence ou d'abondance. Les dendrogrammes de similarité (figure 2.4.2A, 2.4.2C) montrent que les peuplements de macroinvertébrés sont plus homogènes dans les Alpes, les préalpes, le Massif Central et les Tables Calcaires, et moins homogènes dans le Massif Armoricaire et en Méditerranée.

	Bm	Wm	M = Bm/Wm
Présence Absence / Ecorégion	0.557	0.695	0.802
Présence Absence / UGPMA	0.532	0.692	0.769
Log abondance / Ecorégion	0.485	0.616	0.788
Log abondance / UGPMA	0.467	0.622	0.751

Tableau 4.7 – Similarité faunistique moyenne inter-groupes (B_m) et moyenne globale intra-groupes (W_m).

Le coefficient M mesure la robustesse des classifications basées sur les écorégions ou sur les groupes obtenus par une classification UPGMA en considérant des coefficients de similarité basés sur la présence/absence des taxons ou sur le log de leur abondance.

Les valeurs de M calculées à partir des groupes UPGMA sont très légèrement inférieures à celles observées à partir des écorégions du fait de valeurs de similarité inter-groupes inférieures aux similarités inter-écorégions. *Ceci signifie que la classification faunistique, supposée là aussi optimale, est à peine plus performante que la classification par écorégions.* On peut calculer la différence de « performance » de la classification écorégionale par le rapport de la similarité expliquée $(1 - M)$ par chaque classification, soit : « Performance » de la classification écorégionale = $(1 - M_{\text{UGPMA}} / 1 - M_{\text{Ecorégion}})$.

La performance de la classification par les écorégions est de 85,1% en log abondance, et 85,7% en Présence / absence. *Ces valeurs peuvent être considérées comme très bonnes, et dans l'ensemble meilleures que celles obtenues dans les études du même type publiées dans la revue citée précédemment (JNABS, 19(3), 2000).*

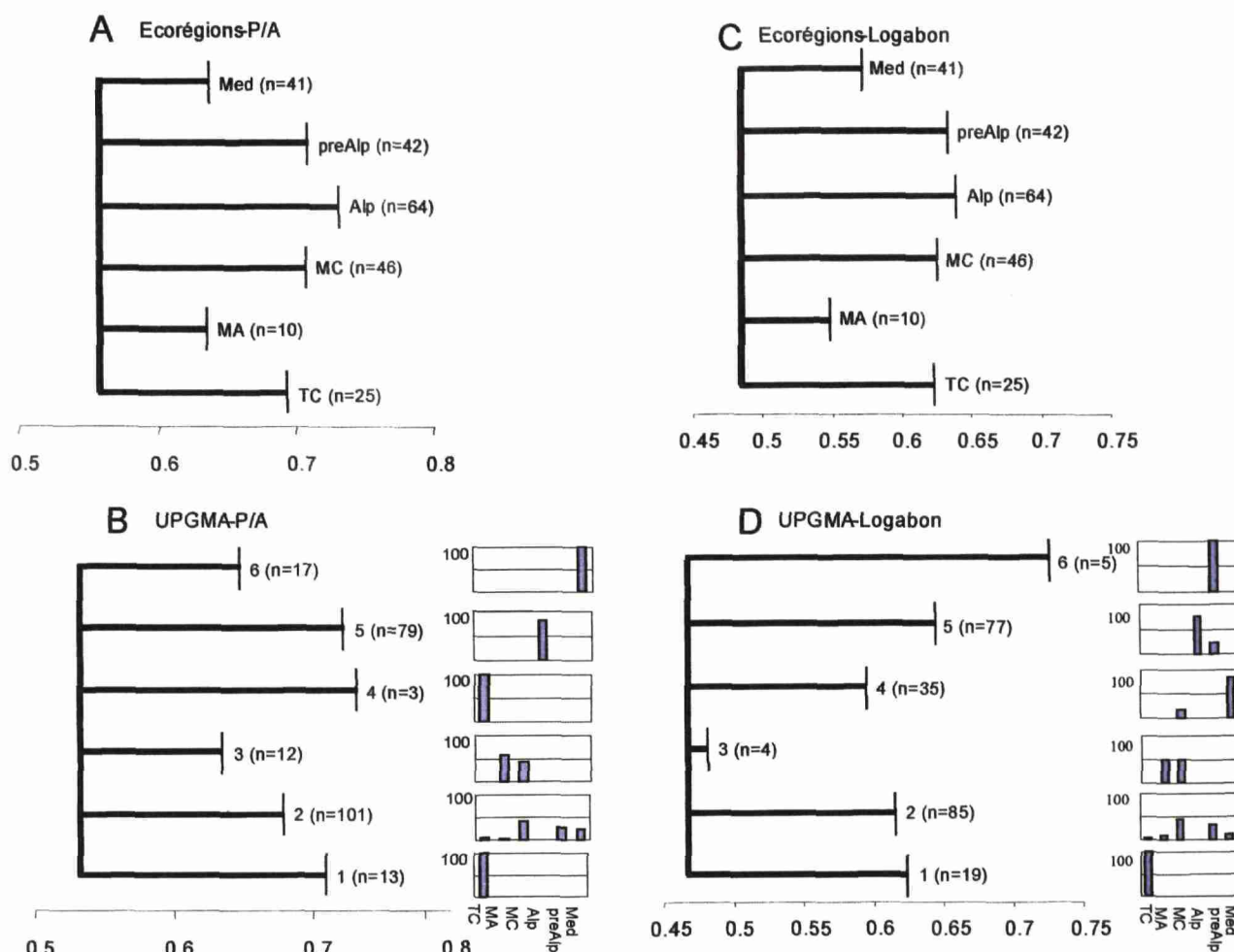


Figure 4.11 - Dendrogrammes de similarité moyenne basés sur le coefficient de Sorensen (A et B) ou sur celui de Bray-Curtis (Cet D) calculé pour les assemblages d'invertébrés (81 taxons-famille – 225 relevés) dans les 6 écorégions (A et C) et dans les 6 groupes obtenus à partir d'une classification UPGMA (B et D).

La ligne verticale représente la similarité moyenne inter-classes (Bm) et les lignes horizontales les similarités moyennes intra-classe. Sont également représentées les distributions écorégionales (en pourcentage) des relevés intra-groupes.

La concordance entre les groupes UPGMA et les écorégions est relativement correcte (figure 4.11 B et D) avec certaines différences selon que l'on considère les données d'abondance ou de présence-absence. Dans les deux cas, tous les relevés alpins sont rassemblés dans un même groupe (groupe 5). Si on considère les données en présence-absence, les relevés des Tables Calcaires sont dispersés dans 3 groupes (1, 2 et 4), les groupes 1 et 4 n'étant constitués que de ces relevés là. Près de la moitié des relevés méditerranéens constituent également à eux seuls un groupe (6) tandis qu'une majorité de relevés du Massif Armoricain et une minorité du Massif Central forment un autre groupe (3). Le groupe 2 est constitué de relevés rattachés à presque toutes les écorégions (sauf les Alpes) avec notamment tous ceux des préAlpes, 89% de ceux du Massif Central et un peu plus de la moitié des méditerranéens. En ce qui concerne les abondances, la majorité des relevés des Tables Calcaires et de Méditerranée sont rattachés à un même groupe (1 et 4 respectivement). Les relevés des préAlpes sont dispersés dans 3 groupes (groupes 2, 5 et 6), 5 relevés constituant également un seul groupe (6) tandis que les relevés du Massif Central et du Massif Armoricain sont regroupés pour une part dans un groupe (3) et représentent 54% des relevés dans un autre (2).

Implications pour la typologie

On s'aperçoit donc que les classifications basées sur la faune elle-même sont, pour un nombre donné de groupes (ici 6), à peine plus discriminantes que les « écorégions » constituées par regroupement de HER. Il reste toujours une part importante de variabilité non expliquée, qui peut être due au rang ou à

la saison, à de la variabilité inter annuelle ou à des facteurs locaux, mais aussi au caractère aléatoire de l'échantillonnage et de la distribution de la faune elle-même (le maximum de similarité vraisemblable entre deux échantillons tirés d'une même rivière au même moment est inférieur à 1). Les classifications automatiques résolvent partiellement ce problème en affectant à des groupes différents des relevés tirés d'une même station à différentes saisons, ce qui contribue à augmenter (très légèrement) leur capacité discriminante. Mais on voit bien l'inconvénient qui en découle : une même station peut changer de « type » selon la saison, voire selon les années...

En conclusion, la typologie basée sur les hydro-écorégions est tout à fait pertinente pour classer la faune, puisque sa « performance » atteint 85% à 97% de celles de classifications automatiques. Elle possède l'avantage d'être robuste, simple à utiliser, et de ne pas dépendre du jeu de données biologiques traitées.

Bien évidemment, les conditions de référence biologiques devront être précisées à partir d'un jeu de données plus conséquent, mais les résultats présentés ci-dessus démontrent que la typologie basée sur les hydro-écorégions, complétée par la prise en compte du rang et de la saison, constitue une base pertinente et fiable pour la classification de la faune et donc la détermination des conditions de référence biologiques.

IV.3.5 – Les métriques de bioindication

IV.3.5.1 – Indices globaux

Les indices faunistiques suivants ont été calculés : l'abondance totale, la richesse taxonomique, l'indice de diversité de Shannon et l'équitabilité.

L'hétérogénéité de l'échantillonnage ne permet pas de calculer et d'étudier rigoureusement une éventuelle interaction entre les différents effets spatiaux et saisonniers. Une analyse de variance à deux facteurs additifs avec répétition « écorégion + saison » nous permet tout de même de tester respectivement les effets « écorégion » (qui nous intéresse essentiellement) et « saison sachant écorégion ». Un test de comparaison multiple (Test de Sidak ou de Scheffe) identifie ensuite quelles sont les régions pour lesquelles ces indices sont significativement différents.

Les résultats sont indiqués dans le tableau 4.8 et la variabilité régionale de ces indices est représentée sur la figure 4.12.

	abondance	Richesse	Div. shannon	Equitabilité
TC (n=22)	15945 ± (17506)	36.1 ± (5.8)	2.9 ± (0.7)	0.56 ± (0.13)
MA (n=10)	4751 ± (3580)	30.4 ± (8)	2.8 ± (0.6)	0.59 ± (0.11)
MC (n=46)	7646 ± (6364)	36.6 ± (4.3)	3 ± (0.6)	0.59 ± (0.11)
Alp (n=64)	6716 ± (6594)	18.6 ± (3.9)	2.5 ± (0.3)	0.59 ± (0.09)
PreAlp (n=42)	6367 ± (4177)	23.6 ± (5.4)	2.7 ± (0.6)	0.59 ± (0.12)
Med (n=41)	12497 ± (8511)	34.8 ± (8.4)	3 ± (0.5)	0.59 ± (0.08)
Effet région	F=7.2 Pr(F)=2.9 e-06***	F=82.1 Pr(F)=0***	F=9.09 Pr(F)=0***	F=0.29 Pr(F)=0.9 NS
Printemps (n=73)	5355 ± (3869)	28.5 ± (8.9)	2.8 ± (0.6)	0.60 ± (0.11)
Été (n=84)	11553 ± (11384)	31.4 ± (9)	2.7 ± (0.5)	0.56 ± (0.09)
Automne (n=40)	10439 ± (8673)	27 ± (9.8)	2.8 ± (0.5)	0.60 ± (0.09)
Hiver (n=28)	6452 ± (4824)	21 ± (7.8)	2.6 ± (0.6)	0.60 ± (0.11)
Effet saison (« sachant région »)	F=7.05 *** Pr(F)=1.5 e-04***	F=1.47 Pr(F)=0.22 NS	F=1.7 Pr(F)=0.17 NS	F=2.59 Pr(F)=0.05 ?

Tableau 4.8 – Moyennes ± (écart-types) écorégionales et saisonnières des différents indices faunistiques et résultats des ANOVA effectuées (modèle additif écorégion + saison).

*** indique que le test est significatif (Pr(F) < 0.001) et NS qu'il est non significatif. La variable abondance totale est préalablement transformée en log.

L'abondance totale (transformée log) est significativement plus élevée dans les Tables Calcaires par rapport aux Alpes, Préalpes et Massif Armoricaire, et en région méditerranéenne par rapport aux Alpes. Cette variable exprime surtout une certaine productivité du milieu, et n'est prise en compte en bioindication que lorsque les valeurs sont réellement très faibles ou très élevées. Les valeurs ci-dessus donnent la gamme de variabilité attendue en conditions naturelles.

On remarquera que cette métrique est la seule qui varie significativement selon la saison (connaissant l'écorégion), les abondances étant significativement plus élevées en été et en automne par rapport au printemps.

La richesse taxonomique est significativement plus faible :

- dans les Alpes par rapport à toutes les autres régions,
- dans les préalpes par rapport au Massif Central, Massif Armoricaire, Tables Calcaires et région méditerranéenne,
- dans le Massif Armoricaire par rapport au Massif Central.

Cette variable constitue *une métrique de base en bioindication*. Elle intervient directement ou indirectement dans la plupart des indices faunistiques, et en particulier dans l'IBGN. *Les différences régionales observées ici sont très importantes*, puisqu'elles vont du simple au double. Il y a donc une *nécessité d'adapter les indices utilisant la richesse taxonomique aux valeurs de référence régionales*.

L'équitabilité est une mesure de la distribution relative d'abondance des taxons, quel que soit leur nombre ; elle représente un certain équilibre dans l'occupation des niches. Les faibles valeurs indiquent une prolifération de quelques taxons, signe généralement de perturbation du fonctionnement trophique du milieu.

C'est la seule métrique qui *ne varie pas significativement d'une écorégion à l'autre*, les moyennes par écorégion étant toutes égales à 0.59. *Cette observation en fait une métrique potentiellement intéressante pour la bioindication, puisque sa valeur de référence est constante*. Cependant la variabilité autour de la moyenne n'est pas négligeable, et il faudra vérifier que cette variable est significativement affectée par les perturbations anthropiques.

L'indice de diversité de Shannon prend en compte à la fois le nombre de taxons et leur abondance relative, mesurée par l'équitabilité. Il présente une variation similaire à celle de la richesse taxonomique, ce qui est parfaitement logique puisque l'équitabilité est constante. Les valeurs de cet indice sont significativement inférieures dans les Alpes par rapport à la région méditerranéenne, le Massif Central et les Tables Calcaires, et dans les Préalpes par rapport au Massif Central.

Cet indice est parfois utilisé en bioindication, et là encore *ses valeurs de référence devraient être régionalisées* en fonction de la richesse taxonomique.

Pour toutes ces variables, bien qu'il existe des différences écorégionales significatives, les représentations box-plot ainsi que celles des moyennes $\pm$ écart-type montrent que les variabilités intra-écorégion sont parfois importantes.

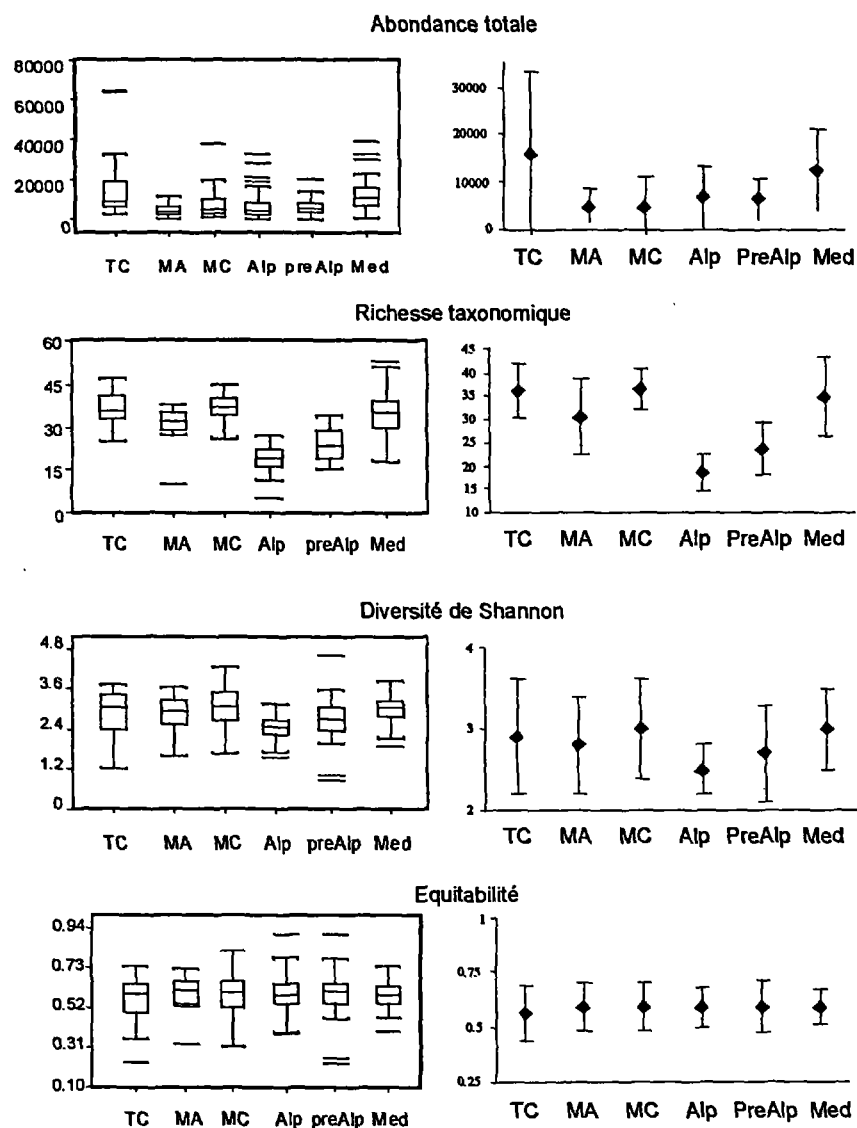


Figure 4.12 - Variabilités écorégionales de l'abondance faunistique totale, de la richesse taxonomique, de la diversité de Shannon et de l'équitabilité : box plots (médiane, 1er, 3ème quartile, interquartile, minimum, maximum) et tracé des moyennes $\pm$ écart-type.

IV.3.5.2 – Bioindication : taxons indicateurs de l'IBGN

IV.3.5.2.1 - Fréquences d'apparition par écorégion des taxons indicateurs de l'IBGN

A partir de l'examen des fréquences d'apparition des taxons indicateurs (tableau 4.9 ci-dessus et figure 4.13), on peut retrouver les différents groupes faunistiques identifiés lors de l'étude inter-écorégion (voir figure 4.6) :

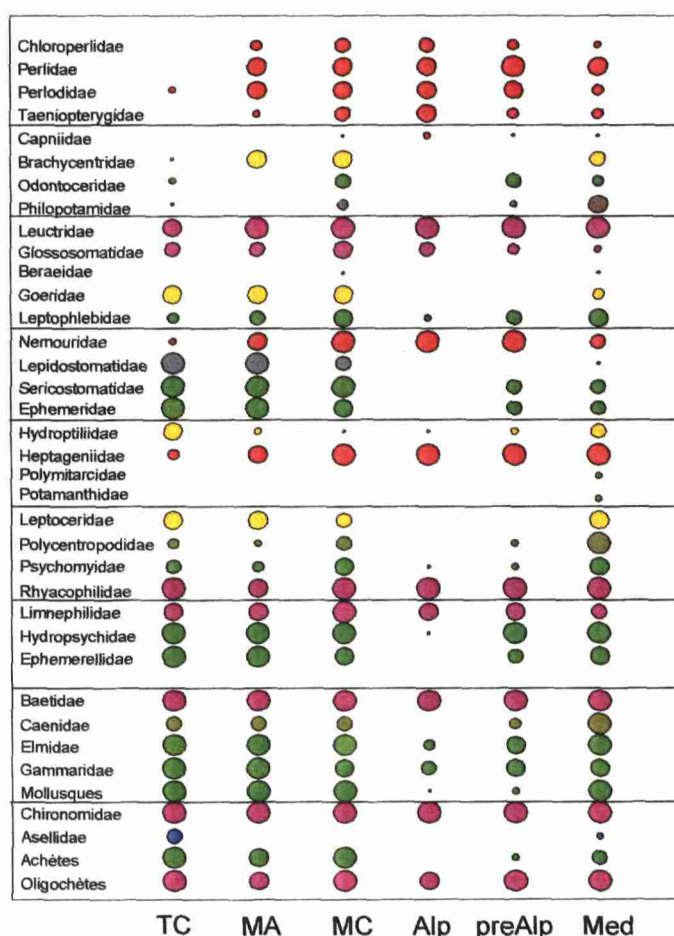


Figure 4.13 - Fréquence d'apparition des taxons indicateurs par écorégions.

Les cercles sont de grandeur proportionnelle à la valeur des fréquences par écorégion et les couleurs font référence aux groupes faunistiques identifiés figure 2.2.3.

- le 1er groupe (rouge) composé essentiellement de Plécoptères (taxons figurant dans les groupes indicateurs les plus élevés) est caractérisé à la fois par une fréquence importante des taxons dans les Alpes et préAlpes et par l'absence ou la faible fréquence de ces taxons dans les Tables Calcaires : il s'agit des Chloroperlidae, Perlidae, Perlodidae, Taeniopterygidae, Nemouridae et Heptageniidae. Les Capniidae, également absents du Massif Armoricaïn et en très faible abondance par ailleurs (mais avec une fréquence maximum égale à 0.12 dans les Alpes) pourraient être rattachés à ce groupe.
- Le 2ème groupe (violet) est composé de taxons qui sont globalement fréquents partout même si dans le détail ils apparaissent plus fréquemment dans telle ou telle région. Il s'agit des Leuctridae, Glossosomatidae, Rhyacophilidae, Limnephilidae, Baetidae, Chironomidae et des Oligochètes.
- Les groupes 3 (vert) et 4 (moutarde), plus importants, sont caractérisés par l'absence ou une plus faible fréquence ou abondance des taxons dans les Alpes (groupe 3) et/ou les préAlpes (groupe 4) Il s'agit des taxons suivants : Brachycentridae, Goeridae, Sericostomatidae, Ephemeridae, Hydroptilidae, Leptoceridae, Psychomyidae, Hydropsychidae, Ephemerellidae, Elmidae et Gammaridae. Les Mollusques et les Achètes peuvent être inclus à ces groupes du fait de leur plus faible fréquence et abondance dans les Alpes et préAlpes. De même, les Leptophlebiae ainsi que les Odontoceridae, absents ou peu fréquents dans les Alpes et absents ou très peu abondants dans le Massif Armoricaïn, peuvent être rattachés à ces groupes.

- Quelques taxons qui sont également peu représentés dans les Alpes ou préalpes ont de plus la caractéristique d'être les plus fréquents en région méditerranéenne (couleur marron). Il s'agit des Caenidae, des Polycentropodidae, des Potamanthidae, des Polymitarcidae, des Beraeidae et des Philopotamidae
- Enfin, les Lepidostomatidae et les Asellidae sont caractérisés, non seulement par leur absence ou très faible présence dans les Alpes et les préalpes mais également par leur très faible présence dans la région méditerranéenne pour les premiers et leur dominance dans les Tables Calcaires pour les seconds.

GI	Taxon	TC (22 rel)	MA (10 rel)	MC (46 rel)	Alp (64 rel)	preAlp (42 rel)	Med (41 rel)
9	Chloroperlidae		0.30	0.43	0.42	0.24	0.20
	Perlidae		0.60	0.59	0.84	1.00	0.63
	Perlodidae	0.18	0.80	0.72	0.72	0.81	0.37
	Taeniopterygidae		0.20	0.52	0.72	0.33	0.22
8	Capniidae			0.04	0.13	0.05	0.05
	Brachycentridae	0.05	0.70	0.80			0.54
	Odontocaeridae	0.14		0.46		0.45	0.24
	Philopotamidae	0.09		0.24		0.14	0.76
7	Leuctridae	0.77	0.90	0.93	0.95	1	0.95
	Glossosomatidae	0.45	0.40	0.76	0.56	0.29	0.17
	Beraeidae			0.04			0.05
	Goeridae	0.68	0.80	0.70			0.34
	Leptophlebiae	0.36	0.50	0.61	0.19	0.55	0.59
6	Nemouridae	0.18	0.70	0.87	0.97	1	0.51
	Lepidostomatidae	0.86	0.90	0.57		0.02	0.05
	Sericostomatidae	0.91	0.90	0.91		0.48	0.54
	Ephemeridae	1	0.90	0.80		0.38	0.39
5	Hydroptilidae	0.64	0.10	0.07	0.03	0.10	0.54
	Heptageniidae	0.27	0.80	0.93	1	0.98	0.98
	Polymitarcidae						0.15
	Potamanthidae						0.12
4	Leptoceridae	0.73	0.60	0.52			0.68
	Polycentropodidae	0.27	0.10	0.50		0.19	0.90
	Psychomyidae	0.55	0.30	0.63	0.05	0.21	0.71
	Rhyacophilidae	0.91	0.70	1	0.86	1	0.88
3	Limnephilidae	0.77	0.80	0.85	0.70	0.71	0.41
	Hydropsychidae	1	0.90	1	0.09	0.90	1
	Ephemerellidae	1	0.90	0.76	0.02	0.55	0.71
	Aphelocheiridae						
2	Baetidae	1	0.90	0.98	1	0.98	1
	Caenidae	0.41	0.40	0.39		0.29	0.85
	Elmidae	1	1	1	0.23	0.83	1
	Gammaridae	1	0.90	0.65	0.38	0.81	0.73
	Mollusques	1	0.90	0.89	0.05	0.12	0.88
1	Chironomidae	1	1	1	0.98	1	1
	Asellidae	0.45					0.17
	Achètes	0.91	0.60	0.93		0.14	0.54
	Oligochètes	1	0.80	1	0.80	0.88	1

Tableau 4.9 - Fréquence d'apparition des taxons indicateurs. Cette valeur n'est pas indiquée pour les taxons dont la densité est inférieure à 3 ou à 10 (nom en italique).

Implications pour la bioindication

Ces résultats ont aussi une implication en terme de bioindication, puisque l'IBGN est la combinaison de la richesse faunistique et des groupes indicateurs ci-dessus. On constate par exemple que le Massif Central et les Tables Calcaires ont la même richesse faunistique potentielle (36 taxons), mais que le groupe indicateur 9 est systématiquement présent dans la première région (MC), alors que dans la seconde (TC) la présence des indicateurs des groupes 8 est 9 est passablement aléatoire : le groupe indicateur systématiquement présent est le 7 (cette observation avait déjà été signalée pour le bassin de la Loire par Ivol, 1998). Le cas de figure inverse vient de la comparaison du Massif Central et des Alpes, avec le même groupe repère (9), mais une richesse moitié moindre dans les Alpes.

Cela signifie donc qu'une certaine relecture régionale des valeurs de référence de l'IBGN s'impose. Le SEQ BIO (version 0) prend déjà en compte ce principe puisque des valeurs de référence distinctes sont attribuées à certains types physiques particuliers (torrents à lit fixe ou mobile ; rivières à substrats sableux, limoneux, argileux, crayeux...) qui ne sont pas sans relation avec les deux cas de figure évoqués ci-dessus, puisqu'on trouvera les premiers dans les Alpes et les seconds dans les Tables Calcaires. La typologie régionale, qui permet d'identifier un type par sa position géographique, permettra sans doute d'analyser plus facilement cette variabilité, et d'affiner le calage des valeurs de référence.

Cependant, cette brève analyse soulève aussi un autre problème : la répartition des taxons indicateurs des différents groupes repères n'est pas homogène selon les régions : par exemple, le groupe 8 n'a une réelle probabilité d'être rencontré que dans le Massif Central et la région Cévennes Méditerranée, à la rigueur en Armorica ; les Alpes sont également « déficitaires » en indicateurs de niveau 6 et 7. Cela signifie que dans les premiers niveaux de qualité, ceux qui concernent justement la limite du bon état, la réponse de l'IBGN à une même perturbation n'est peut être pas homogène selon les régions. Autrement dit, il est possible que certaines régions soient « pénalisées » par rapport à d'autres. Pour éclaircir ce point, qui n'est pas négligeable, il faudrait traiter dans des régions bien contrastées des jeux de données incluant des stations de référence et perturbées, afin de voir si la réponse de l'indice varie régionalement.

IV.3..5.3 – Indicateurs basés sur des groupes faunistiques

On trouve fréquemment dans la littérature des indices simples basés sur la répartition de groupes faunistiques, comme par exemple le groupe « Crustacés + Mollusques », ou l'indice EPT qui regroupe Ephémères, Plécoptères et Trichoptères.

Là encore, il apparaît que la répartition des différents groupes faunistiques en terme d'abondance relative diffère selon les écorégions (figure 4.14). Les Plécoptères et les Ephémères qui apparaissent dominants dans les Alpes et Préalpes (entre 25 et 35 %) sont minoritaires dans les Tables Calcaires dont la faune est dominée par les Mollusques (environ 35 %), Crustacés et Coléoptères (autour de 15 %).

Dans les autres régions, on n'observe pas de façon si tranchée la dominance d'un groupe particulier même si en région méditerranéenne ce sont les Trichoptères et les Ephémères qui dominent (autour de 22 %) et dans le Massif Armoricain les Trichoptères et Coléoptères (autour de 15 %). C'est dans le Massif Central, où la richesse taxonomique et la diversité étaient déjà apparues plus élevées (cf. Figure 4.12), que la répartition entre les différents groupes apparaît la plus homogène avec des pourcentages d'abondance entre 10 et 15 % pour les Trichoptères, Ephémères et Coléoptères, autour de 7% pour les Plécoptères et Crustacés et moins de 5 % pour les Mollusques.

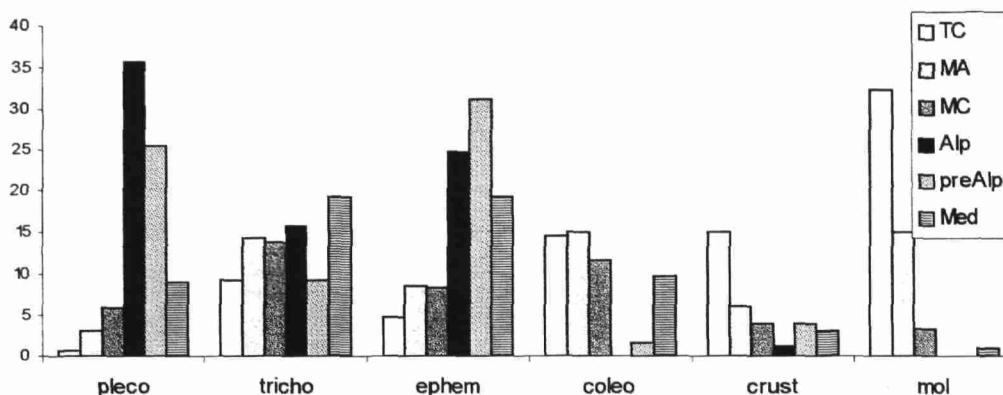


Figure 4.14 - Pourcentages de l'abondance relative par écorégion des principaux groupes faunistiques.

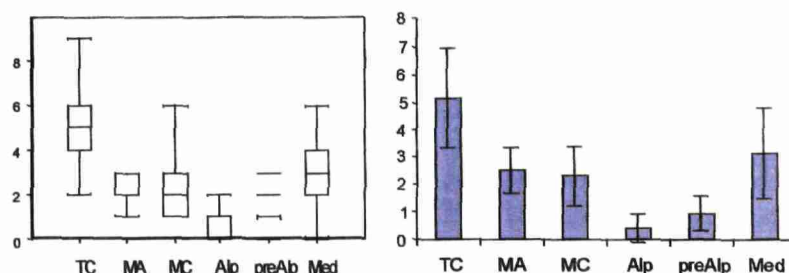


Figure 4.15 - Variabilité écorégionale du nombre de taxons « crustacés + mollusques » :box-plots et valeur moyenne $\pm$ écart-type.

Crustacés + Mollusques

Le nombre de taxons « Crustacés + Mollusques » est une métrique qui permet d'évaluer l'importance des taxons « calciums-dépendants » typiques selon Barbour et al. (1996) des cours d'eau alcalins. La figure 4.15 ci-dessous met effectivement en évidence que cet indice varie significativement selon les écorégions (test de Kruskal Wallis, $p = 0$).

On observe que les valeurs de cette métrique sont effectivement plus élevées dans les Tables Calcaires et très faibles dans les Alpes, ce qui semble logique. Néanmoins, les valeurs sont faibles dans les préAlpes à dominante calcaire, et intermédiaires sur des substrats granitiques comme le Massif Central, le massif Armoricaire ou la région Cévennes – Méditerranée. La relation entre cette métrique et le calcium n'est donc pas très évidente, et les caractéristiques physiques du milieu semblent intervenir pour une bonne part dans la répartition de ces taxons.

Néanmoins, ces valeurs de référence peuvent être utiles pour vérifier le degré d'altération de ces groupes dans les régions où ils sont naturellement abondants, ce qui peut être intéressant en complément des indices classiques dans lesquels ils interviennent assez peu.

Indice EPT

L'indice EPT correspond à la somme du nombre de taxons (ici nombre de familles) dans chacun des trois ordres Ephémères, Plécoptères et Trichoptères. La figure 4.16 ci-dessous montre les variabilités régionales de cet indice. Une ANOVA (modèle additif Région + Saison) confirme la significativité d'un effet régional ($F = 58.36$, $\text{Pr}(F) = 0$). Les valeurs les moins élevées de cet indice se rencontrent dans les Alpes, puis dans les préAlpes, et les plus élevées dans le Massif Central (test de comparaison multiple de Sidak). Cependant, comme pour les autres indices faunistiques, on observe une forte variabilité intra-régionale avec notamment des valeurs extrêmes (*outliers*) dans le Massif Armoricaire (Gourbe 3 en été) et les Alpes (Clignon et Chadoulin au printemps, Issole en été).

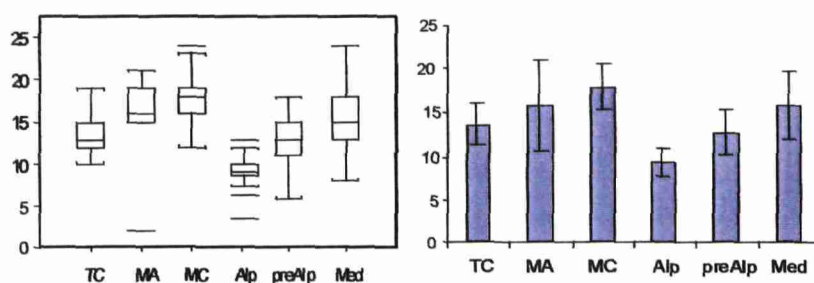


Figure 4.16 - Variabilités écorégionales de l'indice EPT : box plots et valeur moyenne $\pm$ écart-type.

Cette distribution s'explique par la dominance dans les Alpes et PréAlpes des Plécoptères (cf. figure 4.13), un groupe ayant moins de taxons que les deux autres ordres. A l'inverse dans le Massif Central ces trois ordres d'insectes sont bien représentés (cf. figure 4.14).

Ces résultats ne sont pas totalement triviaux, car cet indice est réputé pour être plutôt adapté aux milieux de montagne. Or nous constatons que entre haute et moyenne montagne, les variations des valeurs de référence sont très importantes, et que les régions de plaine (TC, MA) présentent des valeurs intermédiaires.

V – Conclusions générales

Le rapport de phase I de la présente étude avait pour objectif de proposer, à l'échelle du territoire métropolitain, une approche régionale de la typologie des écosystèmes d'eaux courantes adaptée aux préconisations de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau.

L'approche retenue a été celle des « hydro-écorégions », développée et validée précédemment sur le bassin de la Loire.

Le présent rapport avait deux objectifs principaux :

- Définir et caractériser les hydro-écorégions pour la France métropolitaine,
- Tester de manière indépendante la validité de cette approche pour définir les conditions de référence des peuplements d'invertébrés benthiques.

Pour le premier point, une carte dont la validité correspond à l'échelle du 1/1 000 000^{ème} a été produite, assortie d'une classification et d'une description détaillée des hydro-écorégions de niveau 1. Au total, 22 HER-1 ont été identifiées sur des critères combinant le géologie, le relief et le climat, considérés de manière universelle comme les déterminants primaires du fonctionnement des écosystèmes d'eaux courantes. Ces régions se différencient toutes sur au moins un facteur important relatif à ces trois catégories de déterminants. Ces HER-1, couplées à une description longitudinale du réseau à partir des rangs de Strahler, fournissent la base de la typologie requise pour la mise en application de la Directive.

Un deuxième niveau de régionalisation est également défini, aboutissant à la description quantifiée d'une centaine d'hydro-écorégions de niveau 2. Ces HER-2 servent à préciser la variabilité interne des HER-1. Elles pourront être utilisées pour expliquer certaines variations des conditions de référence, voire proposer des sous-types ou des « exceptions typologiques » si les résultats du processus de définition des conditions de référence le justifient. Dans l'immédiat, il est recommandé d'utiliser cette base spatiale pour rechercher des sites de référence décrivant bien la variabilité interne des HER-1.

Pour le deuxième point, nous avons analysé une base de données interne au *Cemagref*, regroupant 239 relevés faunistiques à la famille, échantillonnés sur 88 stations de référence, réparties dans 10 HER-1. Pour des raisons statistiques, des HER-1 faiblement représentées dans le jeu de données ont été regroupées, pour définir 6 « écorégions-tests » dans lesquelles la répartition de la faune d'invertébrés a été étudiée. L'influence de facteurs complémentaires comme le rang de Strahler, la saison d'échantillonnage, l'altitude et la pente des stations a également été analysée.

Dans l'ensemble, l'analyse des peuplements d'invertébrés benthiques valide de manière très satisfaisante l'approche par hydro-écorégions. Cette conclusion se fonde sur quatre points principaux :

- Il existe une distribution « écorégionale » des peuplements d'invertébrés. Les 6 régions testées se différencient selon la distribution de 7 groupes de taxons plus ou moins représentés dans chacune d'elle. Cette approche valide le concept de faune de référence régionale.
- L'effet « écorégion » apparaît largement prépondérant par rapport à l'influence des autres facteurs comme le rang ou la saison, qui apportent toutefois une part significative d'explication à la distribution des peuplements et devront être pris en compte. L'effet écorégion est lié pour une bonne part à l'altitude, et dans une moindre mesure à la pente ; mais l'influence de ces facteurs varie significativement selon les régions, mettant en évidence un effet du « relief régional », parfois prépondérant sur l'effet local des variables altitude et pente.
- Des comparaisons entre la typologie par hydro-écorégions et des classifications automatiques effectuées directement sur la faune montrent que le pouvoir discriminant des 6 écorégions est très bon, voire excellent, puis qu'il explique selon les méthodes utilisées 85% à 97% de la variance maximale explicable par une classification faunistique en 6 groupes.

- Cette régionalisation de la faune se traduit par des variations significatives de métriques fondamentales utilisées en bioindication, notamment la richesse taxonomique et la distribution des groupes de taxons indicateurs qui constituent l'IBGN. est soulignée la nécessité d'une adaptation régionale des valeurs de référence de ces métriques (déjà initiée dans le SEQ BIO) à l'issue du processus de définition des conditions de référence.

En conclusion, la typologie des eaux courantes par hydro-écorégions constitue une approche robuste, opérationnelle et scientifiquement fondée pour la mise en application de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau.

Références Bibliographiques

- Albert, M. B. (2000) *Impact de l'entretien de la végétation rivulaire et du bois mort sur les communautés biologiques et la morphologie des cours d'eau*. Cemagref, Lyon, 138 pp. + annexes.
- Aubouin J., Brousse R. & Lehman J. P. (1978). *Précis de géologie 1. Pétrologie*. Dunod université, 2^{ème} édition : 717p.
- Barbour, M. T., Gerritsen, J., Griffith, G. E., Frydenborg, R., Mccarron, E., White, J. S. & Bastian, M. L. (1996) A framework for biological criteria for Florida streams using benthic macroinvertebrates. *Journal of the North American Benthological Society*, 15, 185-211.
- Bailey R.G. (1996).- *Ecosystem geography* - Springer Verlag, New York. 204 p.
- Bonnefoy D., Chantraine J., Lebre P., Rabu D. (1996) – Carte géologique de la France à 1/1.000.000 numérique. Guide d'utilisation. Rapport BRGM R39145, 33p, 11 tab
- BUREAU DES RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES (BRGM)
 Carte géologique au 1/1.000.000^{ème} (6^{ème} édition), 1996.
 Notice de la carte géologique au 1/1.500.000^{ème}, édition de 1980.
 Cartes géologiques au 1/250.000^{ème} (Valence, Nice, Annecy, Marseille, Gap, Dijon, Paris, Chalons sur Saône, Thonon les Bains, Corse)
 Cartes géologiques diverses.
- Cacas, J., Suard, G. & Dumont, B. (1989) *Identification et évaluation des effets des extractions de matériaux alluvionnaires dans le département des Hautes-Alpes*. CEMAGREF, division Q.E.P.P., Aix-en-Provence, 35 pp.
- CTGREF (1976) *Hydrobiologie du bas-Verdon - Etude n° 11*. CTGREF, section Q.E., Aix-en-Provence, 110 pp.
- Dercourt T. J. & Paquet J. (1990) – *Géologie : Objets et méthodes*. 8^{ème} édition. Dunod Université, 400 p.
- Derruau M. (1974) *Précis de géomorphologie*. 6e éd.. Masson et Cie, Paris, 453 p.
- Dumont, B. & Rivier, B. (1980) Equipements hydro-électriques et vie aquatique en milieu Alpin. *Technical consultation on allocation of fishery resources*, Vichy, France, Food and Agriculture Organization - American Fisheries Society. pp. 97-108.
- Dumont, B. & Rivier, B. (1981) *Le débit de référence biologique*. Cemagref, division Q.E.P.P., Aix-en-Provence, 29 pp.
- Dumont, B., Rivier, B., Rondon, J. & Cacas, J. (1987) *Etude écologique synthétique du fleuve Hérault. Etat de référence physico-chimique et hydrobiologique de l'écosystème*. Cemagref, division Q.E.P.P., Aix-en-Provence, 66 pp.
- Faessel, B., Roger, M. C. & Cazin, B. (1993) Incidence de rejets ponctuels et diffus sur les communautés d'invertébrés benthiques d'un cours d'eau du Beaujolais : l'Ardières. *Annales de Limnologie*, 29, 307-323.
- Ivol-Rigault, J. M. (1998) *Hydro-écorégions et variabilité des communautés du macrobenthos sur le bassin de la Loire. Essai de typologie régionale et référeniel faunistique*. Thèse de doctorat, Univ. Lyon I, 271 pp.
- Lafont, M., Faessel, B. & Roger, M. C. (1995) Les peuplements d'invertébrés de la Dore. Lyon, Centre d'Etude du Machinisme Agricole du Génie Rural des Eaux et Forêts.
- Lebart, L., Morineau, A. & Piron, M. (1995) *Statistique exploratoire multidimensionnelle*. Paris, Dunod. 439 pp.

- Leopold, L. B., M. G. Wolman, and J. P. Miller. 1964. *Fluvial processes in geomorphology*. San Francisco, USA, A series books in Geology, 518 p.
- Mantel, N. (1967) The detection of disease clustering and a generalized regression approach. *Cancer research*, 27, 209-220.
- Margat J. (ed) 1970. *Atlas des eaux souterraines de la France*. BRGM, DATAR. Editions du BRGM, Orléans, non paginé.
- Meybeck M. (1986) – Composition chimique des ruisseaux non pollués de France – *Sci. Géol., Bull*, 39 (1):3-77.
- Omernik JM (1987) Ecoregions of the conterminous United States. *Annals of the Association of American Geographers* 77:118-125
- Rabeni, C. F. & Doisy, K. E. (2000) Correspondence of stream benthic invertebrate assemblages to regional classification schemes in Missouri. *Journal of the North American Benthological Society*, 19, 419-428.
- Rogers, C. F., & Wasson J. G. (1997). Cadastre géographique de la structure et de la dynamique du physique des hydrosystèmes du bassin Rhodanien Français : L'approche hydro-écorégions. Rapport GIP hydrosystèmes : Zone Atelier bassin du Rhône, 03/97- Université de Saint-Etienne, CRENAM/CNRS, UMR 5600 ; Cemagref Lyon BEA/LHQ.
- Roux, M. (1985) *Algorithmes de classification. Méthodes + programmes*. Paris, Masson. 151 pp.
- Souchon Y et al. (2000) Régionalisation de l'habitat aquatique dans le bassin de la Loire. In. Agence de l'eau Loire Bretagne, Cemagref Bely/LHQ, p 291
- Southwood, T. R. E. (1978) *Ecological method*. London, Chapman and Hall.
- Valentin, S. (1995) *Variabilité artificielle des conditions d'habitat et conséquences sur les peuplements aquatiques : effets écologiques des éclusées hydroélectriques en rivière. Etudes de cas (Ance du nord et Fontaulière) et approches expérimentales*. Thèse de Doctorat, Univ. Lyon I, 284 pp.
- Van Sickle, J. (1997) Using mean similarity dendograms to evaluate classifications. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, 2, 370-388. MeanSim : programmation de calcul diffusé librement sur le site de l'Environmental Protection Agency, <http://www.epa.gov/naaujydh/pages/models/dendro/meansim6.htm>.
- Wasson, J. G., J. Bethemont, J. N. Degorce, B. Dupuis, and T. Joliveau. 1993. Approche écosystémique du bassin de la Loire : éléments pour l'élaboration des orientations fondamentales de gestion. Phase I : Etat initial - Problématique. Rapport final CEMAGREF Lyon BEA/LHQ et Univ. St Etienne CRENAM.
- Wasson JG (1996) Approche écosystématique du bassin de la Loire : éléments pour l'élaboration des orientations fondamentales de gestion. Phase II. In. Cemagref BEA/LHQ - Ministère de l'Environnement/SDMAP, p 16
- Wasson J.G., Barrera S., Barrère B., Binet D., Collomb D., Gonzales I., Gourdin F., Guyot J.L. & Rocabado G. (2001) Hydro-ecoregions of the Bolivian Amazon Basin : the geographical frame of running water ecosystem functioning IN MCCLain (ed.) *Ecology of South American Rivers and Wetlands IAHS special publication n°6* Chap 6
- Zumstein J-F 1989 Atlas de la lithologie et de la perméabilité du bassin Rhin Meuse Agence de l'Eau Rhin Meuse

Lexique

AFC Analyse Factorielle des Correspondances
 ACP : Analyse en composantes principales
 ANOVA : analyse de variance
 ANCOVA : analyse de covariance
 AURHELY : Analyse Utilisant le Relief pour l'Hydrométéorologie, modèle d'extrapolation de données climatiques
 BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières
 BV : Bassin versant
 CAH : Classification Ascendante Hiérarchique
 CSP : Conseil Supérieur de la Pêche
 CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique
 DATAR : Délégation à l'Aménagement du Territoire et à l'Action Régionale
 DCE – OE/ESC : Directive Cadre Européenne Objectifs Environnementaux des Eaux de Surface Continentales
 GIP RECLUS : Groupement d'Intérêt Public RECLUS (géographe 1830 – 1905)
 HER : Hydro-écorégion
 IFEN : Institut Français de l'Environnement
 IGN : Institut Géographique National
 MNT : Modèle numérique de terrain ou modèle numérique d'élévation
 SIG : Système d'Information Géographique
 SQR : racine carrée
 UPGMA : méthode de classification hiérarchique
 US EPA : United States Environment Protection Agency
 ZA Rhône : zone atelier Rhône
 ZH : zone Hydrographique

Annexe 1 Géologie (données géographiques)

L'objet de cette annexe est d'expliquer la méthode employée pour transcrire les données géologiques existantes à l'échelle nationale en informations lithologiques utiles à la délimitation des hydro-écorégions.

Les cartes générées par ce travail et le tableau général de classification des faciès lithologiques sont également fournies à la fin de cette annexe.

1. Les données existantes et disponibles

Afin de fournir une base de travail la plus homogène possible, l'emploi de données de niveau national a été privilégié en tant que base de travail. Il s'agit essentiellement de *la carte géologique au 1/1 000 000^{ème} éditée par le BRGM (6^{ème} édition de 1996)*.

Cette carte, disponible sous forme numérique, livre deux types d'informations géologiques principales :

- l'âge des terrains sédimentaires, métamorphiques et volcaniques/plutoniques (en gamme de couleurs sur l'édition papier),
- des informations à caractère géodynamique diversifiées suivant les terrains (en surimpression sur l'édition papier), par exemple le type et âge du métamorphisme, champs filoniens, éléments structuraux, etc

En outre des informations relatives à la nature dominante des roches existent pour les roches volcaniques et plutoniques, ainsi que des indications en ce qui concernent certains faciès particuliers des roches sédimentaires.

Les informations existantes concernant la nature des roches sont conçues par des géologues dans une perspective d'étude et d'explication des phénomènes géologiques passés, et nécessitent une simplification importante pour les adapter à une problématique de fonctionnement des écosystèmes d'eau courante.

Les informations sur les roches sédimentaires, mis à part les faciès particuliers, sont limitées à une datation stratigraphique sans plus de précision en ce qui concerne la nature des roches. En effet, pour des raisons évidentes d'échelle, les auteurs ont opéré des regroupements par grandes périodes. Ainsi, dans les secteurs à sédimentation importante (fosse dauphinoise atteignant plusieurs milliers de mètres d'épaisseur en roches sédimentaires à l'ère secondaire par exemple), une partie des informations relatives à la nature des roches est forcément occultée, compte tenu des variations importantes de faciès observée d'un étage à l'autre, voire au sein d'un même étage. Par ailleurs, une autre difficulté majeure provient de la variabilité latérale des faciès de ces roches dans un même étage géologique, liée aux conditions différentes de sédimentation sur des distances assez grandes.

Il est donc apparu nécessaire d'avoir recours à des informations complémentaires, en particulier pour les roches sédimentaires. *La notice de la carte géologique de la France au 1/1.500.000^{ème} (BRGM 1980)* a constitué le support principal d'identification des faciès dominants par grandes régions géologiques et par étages stratigraphiques. Là où elles existent, *les cartes géologiques du BRGM au 1/250.000^{ème}*, sources de renseignements assez précises, complétées par les éditions au 1/80.000^{ème}, au 1/50.000^{ème} et au 1/320.000^{ème} dans les zones non couvertes, ont permis un contrôle, voire une amélioration de la précision dans la description des faciès.

Enfin, *L'Atlas des eaux souterraines de la France (BRGM 1970)* constitue, par ses informations à la fois diversifiées et synthétiques un complément d'information utile pour une approche descriptive des roches orientée vers le fonctionnement hydrologique.

2. Classification des roches

Le mode de classification adopté repose sur la détermination des différents aspects de la géologie en tant que facteur de contrôle du fonctionnement des systèmes d'eau courante, en distinguant trois caractéristiques principales différentes des roches mères :

- résistance à l'érosion,

- perméabilité,
- composition chimique des eaux .

2.1. Résistance à l'érosion

La résistance à l'érosion des roches a une incidence directe

- sur les formes de relief, et donc la forme des vallées; ainsi que les profil en long (pentes, profil, morphologie du lit...)
- sur la nature, la forme des matériaux du lit (sables, blocs, fractions fines), et leur morpho-dynamique.

La dureté, ainsi que la solubilité (liée à la solubilité des minéraux eux-même ou à la cohérence, l'hétérogénéité de la roche) sont les principaux éléments pris en compte.

A partir d'ouvrages généraux de géomorphologie (DERRUAU 1974), et de travaux équivalents réalisés par C.F. Rogers dans le bassin du Rhône (Rogers & Wasson 1995) nous proposons la classification simplifiée suivante :

Classes	Catégorie de roches	Type de roches
Roches résistantes	Roches basaltique	Basalte, basanite, hawaïte, mugéarites, trachyte, phonolites
	Roches cristallines	Granit, granodiorite, rhyolite, diorite, gabbros
		Roches métamorphiques cristallines : amphibolite, anatexite - Gneiss, Migmatites, micaschistes
	Roches détritiques et sédimentaires	Grés indurés, arkose, quartzites, conglomérats, meulières, calcaires massifs (karst)
Roches hétérogènes	Séries carbonatées	Alternances roches calcaires/marnes - séries secondaires/tertiaire et dolomies
	Flyschs	Flyschs sédimentaires éventuellement métamorphisés
	Schistes sédimentaires	Schistes primaires, schistes houillers, micaschistes
Roches cohérentes, tendres	Roches sédimentaires	Marnes, craies, gypse
Roches peu consolidées	Roches détritiques	Molasses, argiles, alluvions anciennes
	Formations particulières	Sables, moraines, alluvions (fluvio-glaciaires ou fluviales) Roches volcaniques de type cinérites

Tableau 1.1 - Classification des types de roches selon leur résistance à l'érosion

2.2. Perméabilité

La perméabilité des roches a une incidence directe sur :

- le fonctionnement hydrologique des cours d'eau (écoulement à l'étiage, écoulement des crues, régularité des écoulements),
- le drainage des bassins versants en particuliers pour les rangs d'ordre inférieur (Leopold *et al.* 1964).

La classification proposée repose sur les travaux de Zumstein (1989).

Le tableau suivant représente une proposition prenant ces éléments en compte :

Classes	Sous classes	Types de roches
Roches perméables	à interstice	Grès, molasses, conglomérats Sables,
	à fissures	Calcaires massifs, dolomie
Roches peu perméables	A interstices avec fraction fine	Grès, conglomérats, arkoses
	Alternance de roches perméables à fissures et de roches imperméables	Séries carbonatées marno-calcaires du secondaires et du tertiaire Roches volcaniques du quaternaire Schistes sédimentaires
	Alternance de roches perméables à interstices et de roches imperméables	flyschs
Roches imperméables	Marnes et argiles Roches compactées	Marnes et argiles du secondaire, tertiaire Roches métamorphiques (calcaires du primaires), sédimentaires du primaire, roches volcaniques du primaire
	Roches cristallines	Granit, granodiorite, rhyolite, diorite, gabbros Roches cristallophylliennes : amphibolite, anatexite, gneiss, migmatites, micaschistes Grés indurés, arkose, quartzites, grauwackes
Formations superficielles	perméables	Alluvions fluviales, sables tertiaire, alluvion fluvio-glaciaires
	Peu perméables	Moraines, limons éoliens (loess), alluvions fluviales en domaines marno argileux

Tableau 1.2 - Classification des types de roches selon leur perméabilité

Le cas des roches volcaniques est particuliers, en effet, celles du quaternaire sont en général fissurées, hétérogènes, voire recouvertes de formations très poreuses (cinérite), nous les avons classées dans la catégorie « peu perméable » en raison de leur hétérogénéité, et de la variation spatiale des ces caractéristiques, quasi impossible à représenter à l'échelle de travail du rapport.

2.3. Composition chimique des eaux

La composition chimique de l'eau a une influence directe sur le fonctionnement de l'écosystème, parmi les critères à prendre en compte nous proposons :

- la conductivité, liée à la charge ionique, indicateur de richesse en éléments divers,
- le pH,
- la concentration en carbonates, ayant une incidence directe sur la productivité primaire de l'écosystème;
- les ions Ca^{++} et Mg^+ liés aux précédents, facteurs limitant pour certains invertébrés ;
- chlorures de sodium, sulfates modifiant durablement à concentrations élevées l'écosystème aquatique (phénomènes localisés).

La classification proposée repose sur les travaux de Meybeck (1986) dont l'étude de 232 bassins versants monolithologiques pour 25 types de roches permet de dégager des tendances de composition chimique en fonction de la roche dominante sur le bassin versant :

Roches	Cond. μS/cm	pH	HCO ₃ ⁻ μeq/l	Ca ⁺⁺ μeq/l	Mg ⁺ μeq/l	SO ₄ ⁻ μeq/l
Roches cristallines magmatiques Granit; gneiss, micaschiste, rhyolite, trachy-andésite	35	[5,2 – 7,4]	< 300	[20 – 300]	[20 – 80]	< 50
Roches cristallines sédimentaires Grès, arkose, grauwacke, sables	60	[5,8 – 7,3]	< 340	[100 – 200]	[30 – 140]	[70 – 120]
Roches volcaniques (basaltiques)	50	[6,7 – 7,7]	[400 – 500]	[200 – 300]	[100 – 190]	[10 – 30]
Schistes	160	[6,2 – 8,0]	375	300	400	125
Schistes permians (houillers)	variable	[6,7 – 7,8]	[1500 – 2000]	[1300 – 1500]	770 (2750)	[100 – 200] (parfois +)
Roches détritiques carbonatées - Marnes	270	[7,3 – 8,3]	[1400 – 3000]	[1700 – 2500]	400	[50 – 150]
Calcaires (Dolomies)	450	[7,6 – 8,2]	[4400 – 5400]	[3200 – 4500]	135 (2700)	135 (500)
Evaporites	1 700	[8,2 – 8,6]	[3700 – 5500]	> 9000	> 5000	> 12000

Tableau 1.3 - Composition chimique de l'eau provenant de bassins monolithologiques
Tendances en fonction des types de roches (extraits de Meybeck 1986)

Les valeurs indiquées résultent de moyennes par type de roches, elles sont à considérer comme des ordres de grandeur.

Trois classes principales se dégagent de ce tableau :

- les « roches cristallines et basaltiques », dont les eaux sont caractérisées par un pH bas, une faible charge anionique ;
- les roches peu carbonatées, (schistes primaires et roches détritiques carbonatées) dont la charge anionique plus élevée des eaux drainées comprend des carbonates de calcium,
- les calcaires et dolomies, où la charge anionique élevée témoigne de leur solubilité .

Les évaporites constituent des cas particuliers (peu représentées en surface), ainsi que les schistes houillers dont la composition est très variable.

Il convient de prendre en compte le cas particuliers des roches induisant un transport solide en matière en suspension important qui peut s'avérer être un facteur limitant pour le développement de population d'invertébrés du type marne, argiles, moraines, limons.

2.4. Classification

La synthèse de ces différentes catégories identifiées prend la forme suivante :

Types de roches	Erosion	Perméabilité	Comp. Chimique des eaux	Observations
Roches basaltiques et volcaniques (sauf quaternaire)	Résistante	Imperméable	Faible charge ionique	Y compris ophiolites
Roches cristallines magmatiques : Granit, diorite, rhyolite, gabbros	Résistante	Imperméable	Faible charge ionique	
Roches métamorphiques Anatexites, gneiss, micaschistes	Résistante	Imperméable	Faible charge ionique	
Roches détritiques quartzieuses : Grès primaires, arkose, quartzite	Résistante	Imperméable	Faible charge ionique	
Roches détritiques non carbonatées : Grès, conglomérats,	Résistantes	Perméable à interstices	Faible charge ionique	
Roches volcaniques quaternaire	Résistantes	Peu perméables à alternance de roches perméables à fissures	Faible charge ionique	
Schistes sédimentaires primaires	Hétérogène	Peu perméables à alternance de roches perméables à fissures	Faible charge ionique	Caractéristiques variables
Séries carbonatées (calcaires/marnes)	Hétérogène	Peu perméables à alternance de roches perméables à fissures	Charge ionique moyenne Présence de carbonates	
Flyschs sédimentaires Roches détritiques carbonatées, Conglomérats	Hétérogène	Peu perméables à alternance de roches perméables à interstices	Charge ionique moyenne Présence de carbonates	
Marnes et argiles	Cohérentes, tendres	Imperméables	Charge ionique moyenne Présence de carbonates	
Marnes à évaporites	Cohérentes, tendres	Imperméables	Eaux carbonatées, (sulfates) à charge ionique élevées	
Calcaires massifs, dolomies,	Résistantes	Perméables à fissures	Eaux carbonatées	
Craies	Cohérentes, tendres	Perméables à fissures	Eaux carbonatées	
Molasses	Roches peu consolidées	Perméables à interstice	Eaux peu carbonatées	
Sables	Roches meubles	Perméables à interstices	Faible charge ionique	
Argiles et sables	Roches meubles	Imperméables	Faible charge ionique	
Dépôts glaciaires (limons et moraines)	Roches meubles	Imperméables	Charge ionique moyenne Présence de carbonates	
Alluvion récentes	Roches meubles	Perméables à interstices en domaine de glaciation quaternaire Variable ailleurs	Charge ionique moyenne Présence de carbonates	
Alluvions fluviales	Roches meubles	Perméables à interstices (sauf en domaine marno agileux)	Variable : de milieu d'alluvions saumâtres à alluvions grossières de roches cristallines	

Tableau 1.4 - Classement des types de roches selon leur caractéristiques

3. Méthodologie

Une fois arrêtée la classification des roches, il convient d'affecter un type de roche à chaque polygone défini dans la carte géologique au 1/1.000.000^{ème}.

Selon la nature de la couche et des informations initiales qui lui sont associées, la procédure de classement n'a pas été la même.

3.1. Roches magmatiques

Comme indiqué ci-dessus, la nature de la roche est identifiée par rapport à sa dureté, sa résistance à l'érosion, et sa nature chimique dans la mesure où celle-ci est susceptible d'affecter celle des cours d'eau par l'intermédiaire de sa dégradation, des processus d'érosion.

Trois catégories finales sont proposées :

- les roches cristallines magmatiques;
- les roches basaltiques et volcaniques,
- les roches volcaniques du quaternaire.

Ce qui donne les correspondances suivantes avec les attributs des polygones décrivant ces roches dans la carte géologique du BRGM au 1/1.000.000^{ème} (6^{ème} Edition) :

CODLITHO	LIBLITHO	Catégories
GGP	Granites et autres granitoïdes peralumineux	roches cristallines magmatiques
RBI	Roches basiques indéterminées	roches cristallines magmatiques
LGP	Leucogranites ou granitoïdes peralumineux	roches cristallines magmatiques
GGG	Granites et granodiorites et autres granitoïdes	roches cristallines magmatiques
GGCA	Granites et autres granitoïdes calco-alcalins	roches cristallines magmatiques
GGSA	Granites et autres granitoïdes sub-alcalins	roches cristallines magmatiques
MG	Microgranites ou granitoïdes	roches cristallines magmatiques
CLA	Complexe leptyno-amphibolique	roches cristallines magmatiques
OP	Ophiolites et péridotites	roches cristallines magmatiques
PO	Péridotites ou ophiolites	roches cristallines magmatiques
GBO	Gabbros et basaltes ou ophiolithes	Roches basaltiques
PM	Péridotites mantelliques	roches cristallines magmatiques
DGRB	Diorites et gabbros et autres roches basiques	roches cristallines magmatiques
RDSO	Rhyolites et dacites et séries différenciées	roches cristallines magmatiques
BASND	Basaltes et andésites et séries non différenciées	Roches basaltiques ou roches volcaniques du quaternaire
BHTSND	Basanites et hawaïtes et téphrites et séries non différenciées	Roches basaltiques ou roches volcaniques du quaternaire
MTPSD	Mugéarites et trachytes et phonolites et séries différenciées	Roches basaltiques ou roches volcaniques du quaternaire
INDE	Indéterminée	Selon nature de l'origine (plutonique ou volcanique)

Tableau 1.5 - Lexique lithologie des roches magmatiques de la base de données de la carte BRGM et proposition de classification

3.2. Roches métamorphiques

Deux catégories finales sont proposées :

- les roches « métamorphiques »; essentiellement constituées de roches « cristallines » dont les caractéristiques physiques et chimiques, au regard de la problématique à l'origine de ce travail, s'apparentent aux roches cristallines magmatiques,
- les schistes, classes très hétérogènes, dont les caractéristiques dépendent de la roche héritée et de l'intensité du métamorphisme.

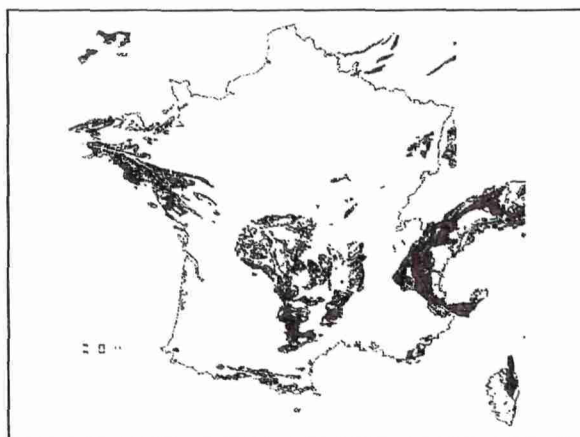
Ce qui donne les correspondances suivantes avec les attributs des polygones décrivant ces roches dans la carte géologique du BRGM au 1/1.000.000^{ème} (6^{ème} Edition) :

CODFACMET	LIBFACMET	Catégorie
AMPH	Amphibolite	Roches métamorphiques
ANTE	Anatexie	Roches métamorphiques
GRAN	Granulite (de basse pression)	Roches métamorphiques
SCBL	Schiste bleu (de basse température)	Schistes métamorphiques
SCEC	Eclogite et Schiste bleu	Roches métamorphiques
SCVE	Schiste vert	Schistes métamorphiques
00		

Tableau 1.6 - Lexique des faciès métamorphique de la base de données de la carte BRGM et proposition de classification

Les faciès et caractéristiques des « schistes bleus et schistes verts » sont le plus souvent très dépendant de ceux de la roche initiale, cette information n'apparaît pas sur la carte géologique, en conséquence l'ensemble de ces roches sont englobées dans l'appellation « schistes métamorphiques » pouvant posséder des caractéristiques très différentes selon le matériel initial.

Compte tenu de la répartition géographique de cette catégorie, qui constitue plus une information d'hétérogénéité, voire une non information, il est apparu plus sage de la conserver en tant que telle ; la recherche de précisions supplémentaires aurait eu un coût disproportionné au regard de l'objectif de caractérisation du fonctionnement des cours d'eau.



Carte 1.1. Répartition de la catégorie « schistes métamorphiques »

En effet, comme le montre la figure ci dessus, les principaux domaines concernés sont :

- les Alpes, caractérisée par une complexité et la prépondérance des facteurs liés au climat et au relief ainsi que la Corse,,
- la bordure sud et orientale du Massif Central dominés par des sédiments de l'ère primaire, intercalés entre les plateaux calcaires des Causses,
- le sud du massif armoricain concerné par des sédiments primaires auxquels ont affectera les caractéristiques de ceux non métamorphisés.

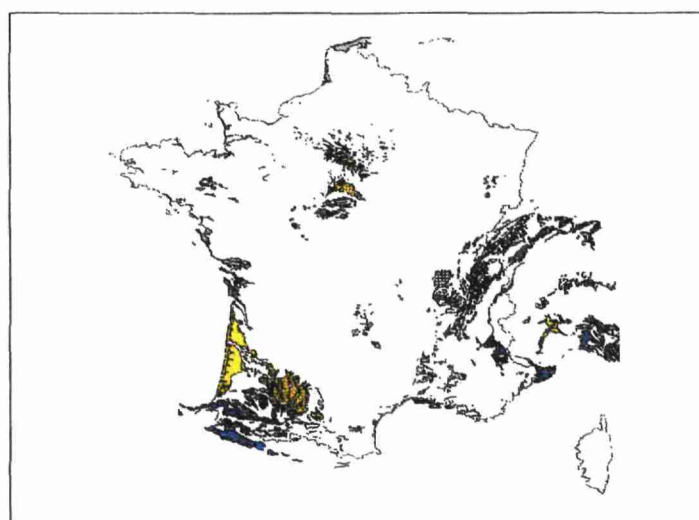
3.3. Roches sédimentaires

La carte géologique au 1/1.000.000^{ème} du BRGM nous donne des renseignements de datation simplifiés (jurassique inférieur, moyen, supérieur par exemple) sans précision de faciès qui permettrait le classement lithologique de ces polygones, hormis quelques faciès particuliers ci-après pour lesquels nous proposons les correspondances suivantes :

CODFACSPEC	LIBFACSPEC	Catégories
DEPO	Dépôts continentaux	Argiles et sables
DUNE	Dunes et cordons littoraux	Sables
FLUV	Dépôts fluvio-marins	Alluvions fluviales
FLYS	Flysch	Flyschs sédimentaires
GLAC	Dépôts glaciaires, moraines	Limons et moraines
MARI	Dépôts marins	
SALA	Sables des Landes	Sables
URGO	Faciès urgonien	Calcaires massifs
BFLY	Flyschs à blocs	Flyschs sédimentaires

Tableau 1.7 - Faciès sédimentaires de la base de données de la carte BRGM et classification

Ces renseignements ne fournissent qu'une information très partielle à l'échelle du territoire français, comme le montre la figure ci dessous :



Carte 1.2. Faciès spécifiques décrits dans la carte géologique au 1/1.000.000^{ème} (6^{ème} Edition)

La principale difficulté méthodologique est donc de déterminer le faciès dominant de l'étage stratigraphique défini dans la carte géologique au 1/1.000.000^{ème}. A partir de la notice de la carte géologique de la France et de la marge continentale de la France au 1/1.500.000^{ème} éditée par le BRGM, et en utilisant les feuilles disponibles au 1/250.000^{ème} du BRGM, les faciès « dominants » tels que décrits dans la classification proposée ci dessus, ont été identifiés étage par étage, en différenciant les grands ensembles géologiques du territoire.

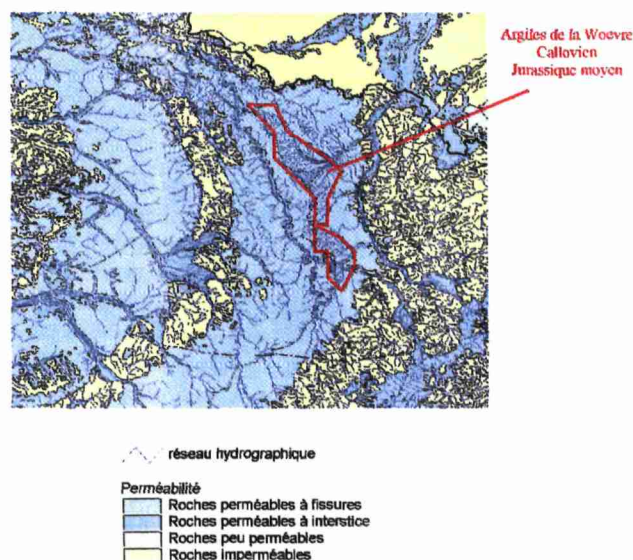
Le choix du faciès dominant est effectué visuellement sur la carte géologique au 1/250.000^{ème} (pour celles disponibles) en identifiant la ou les formations majoritaires en surface de l'étage stratigraphique concerné. Par exemple, il apparaît fréquemment que les formations moins résistantes à l'érosion, même si elles sont épaisses, ont une surface relative moins importante que les formations plus résistantes dans des contextes où les reliefs tabulaires sont dominants, comme le Jura ou les causses de la partie méridionale du Massif Central.

L'ensemble de la France n'étant pas disponible sous forme de carte au 1/250.000^{ème}, le recours à la notice de la carte au 1/1.500.000^{ème} du BRGM, plus descriptive, a permis de proposer un classement qui a été contrôlé et

corrigé de façon ponctuelle à l'aide de cartes géologiques au 1/ 80.000^{ème} et 1/50.000^{ème}. En outre, les informations provenant de l'Atlas des eaux souterraines de la France ont été utilisées, soit pour valider les affectations des polygones, soit pour améliorer la compréhension des résultats au niveau régional (notamment à l'examen des coupes géologiques y figurant).

Les résultats sont traduits sous la forme d'un tableau figurant dans le tableau 1.8. ci dessous dont les informations ont été ajoutées à la base de données accompagnant la carte géologique au 1/1.000.000^{ème}.

Compte tenu de l'« échelle » des polygones élémentaires de la carte géologique au 1/1.000.000^{ème}, certains phénomènes, pourtant connus ou identifiables par d'autres moyens, ne peuvent pas être correctement représentés, par exemple, les argiles de la Woëvre, plaine au nord est de Nancy, correspondent à l'étage du Callovo Oxfordien du Jurassique moyen, dominé par des faciès calcaires dans la partie est du bassin parisien. On peut constater dans la figure ci-dessous, que l'imperméabilité des terrains, traduite également par la densité du réseau, ne peut être correctement représentée pour ce faciès particuliers.



Carte 1.3. Identification du faciès des argiles de la Woëvre au nord est de Nancy

Il convient, en outre, d'attirer l'attention sur le fait que cette couche d'information et les cartes qui en découlent ne constitue qu'un outil d'information utile à l'analyse spatiale, avec l'objectif d'identifier les déterminants primaires du fonctionnement des écosystèmes d'eau courante ; l'utilisation de ces résultats en dehors de ce contexte risque de ne pas être pertinent dans la mesure où les simplifications réalisées l'ont été en fonction de cet objectif.

4. Les résultats

Ces résultats sont constitués par des couches d'information géographique : polygones géoréférencés auxquels sont affectés les attributs suivants :

- types de roches (issus de la classification proposée ci dessus) ;
- résistance à l'érosion (en quatre classes) ;
- perméabilité, (en quatre classes),
- composition chimique des eaux (en quatre classes) ;

qui s'ajoutent aux attributs préexistants de la base de données de la carte géologique au 1/1.000.000^{ème} du BRGM.

Ces résultats sont représentés ci-après par des cartes, mais l'intérêt de ce type d'information réside dans le fait de pouvoir la croiser avec les autres données relatives aux déterminants de fonctionnement des écosystèmes d'eau courante.

Par ailleurs, il a paru utile de réaliser une carte géologique simplifiée en regroupant la nature de roches et les étages stratigraphiques, dans la mesure où ce mode de représentation est très fréquent et correspond à des « standards » de représentation facile à aborder.

En complément à ce travail, il convient de signaler que la numérisation de la carte des Eaux souterraines de **Margat, 1966** renseignée en terme de faciès lithologique, est actuellement en cours sous la direction de M. Laville du BRGM ; cette couche d'information sera disponible dans un proche avenir, et devrait permettre de corriger encore quelques imperfections de ces cartes, inhérentes à la méthode de travail utilisée.

Enfin, l'examen de la carte du réseau, issue directement de la @BD Carthage, apporte un éclairage et un complément d'information quant à la nature des formations géologiques, selon que leur caractère imperméable ou drainant a une influence sur l'organisation de la structure du réseau.

Une carte simplifiée de la densité du réseau hydrographique (en km/km²), par maille carrée de 2,5 km de côté, a permis de représenter cette variable à l'échelle du territoire national, en utilisant une légende en 5 classes.

5. Conclusion

Afin d'obtenir un document permettant de régionaliser à l'échelle de la France l'un des déterminant primaire des facteurs de contrôle du milieu aquatique que constitue la géologie, une classification des roches a été réalisée en fonction de leur influence possible sur le milieu aquatique, intégrant dureté, perméabilité, et nature chimique des eaux. La régionalisation a été réalisée à partir de la carte géologique au 1/1.000.000^{ème} du BRGM (6^{ème} édition), en affectant à chacun des polygones élémentaires une nature de roche issue de la classification proposée.

Outre sa précision limitée par l'échelle de travail et son objectif lié au fonctionnement du milieu aquatique, les résultats obtenus sont à manipuler avec précaution compte tenu des imperfections méthodologiques liées à la différence entre le type d'informations fournies par le document origine, support de la description, et le type d'informations recherché.

Couplé à l'examen d'informations complémentaires (densité du réseau, géomorphologie, relief), ce document constitue malgré tout un outil utile à la régionalisation des milieux aquatiques.

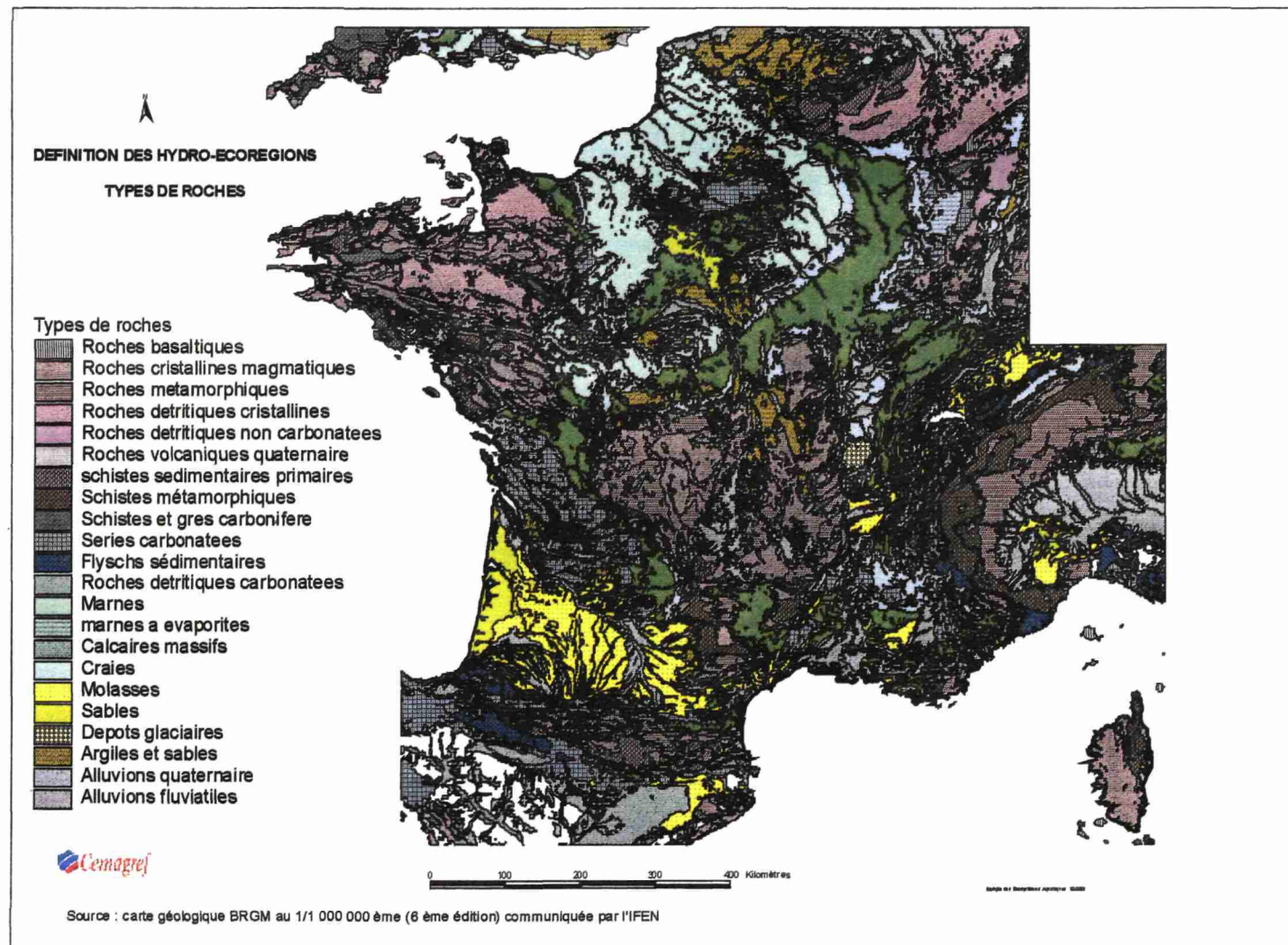
Tableau 1.8 - Faciès sédimentaires dominants par étage stratigraphique et par régions
 (Selon notice de la carte géologique de la France au 1/1 500 000^{ème} BRGM 1980 et consultations de cartes géologiques au 1/250 000^{ème})

Etage stratigraphique	Massif armoricain	Massif Central	Ardenne Vosges	Corse	Pyrénées	Alpes	Bassin parisien	Bassin Aquitain	Couloir Rhodanien
briovérien bk b1 b2 b2k	Roches détritiques cristallines	Roches détritiques cristallines	Roches détritiques cristallines						
Cambrien k ko kd	Roches détritiques cristallines	Schistes sédimentaires du primaire	Schistes sédimentaires du primaire						
Ordovicien bo o ol o2	Schistes sédimentaires du primaire	Roches détritiques cristallines Schistes sédimentaires du primaire	Schistes sédimentaires du primaire	Roches détritiques cristallines	Schistes sédimentaires du primaire				
Silurien os s sd1	Schistes sédimentaires du primaire	Schistes sédimentaires du primaire	Schistes sédimentaires du primaire		Schistes sédimentaires du primaire				
Dévonien d od1 d1 d2	Roches détritiques cristallines Schistes sédimentaires du primaire	Schistes sédimentaires du primaire	Roches détritiques cristallines Schistes sédimentaires du primaire		Schistes sédimentaires du primaire				
Houiller h1 hd2 dh2 h1-2 h2 h2-3 h3	Schistes houillers	Schistes houillers	Schistes houillers		Roches détritiques carbonatées Roches détritiques non carbonatées	Schistes houillers			
Permien h2r h3r br r		Roches détritiques cristallines	Roches détritiques cristallines		Roches détritiques cristallines				
Etage stratigraphique	Massif Central	Corse	Pyrénées	Jura	Alpes	Bassin parisien	Bassin Aquitain	Couloir Rhodanien	Région méditerranéenne

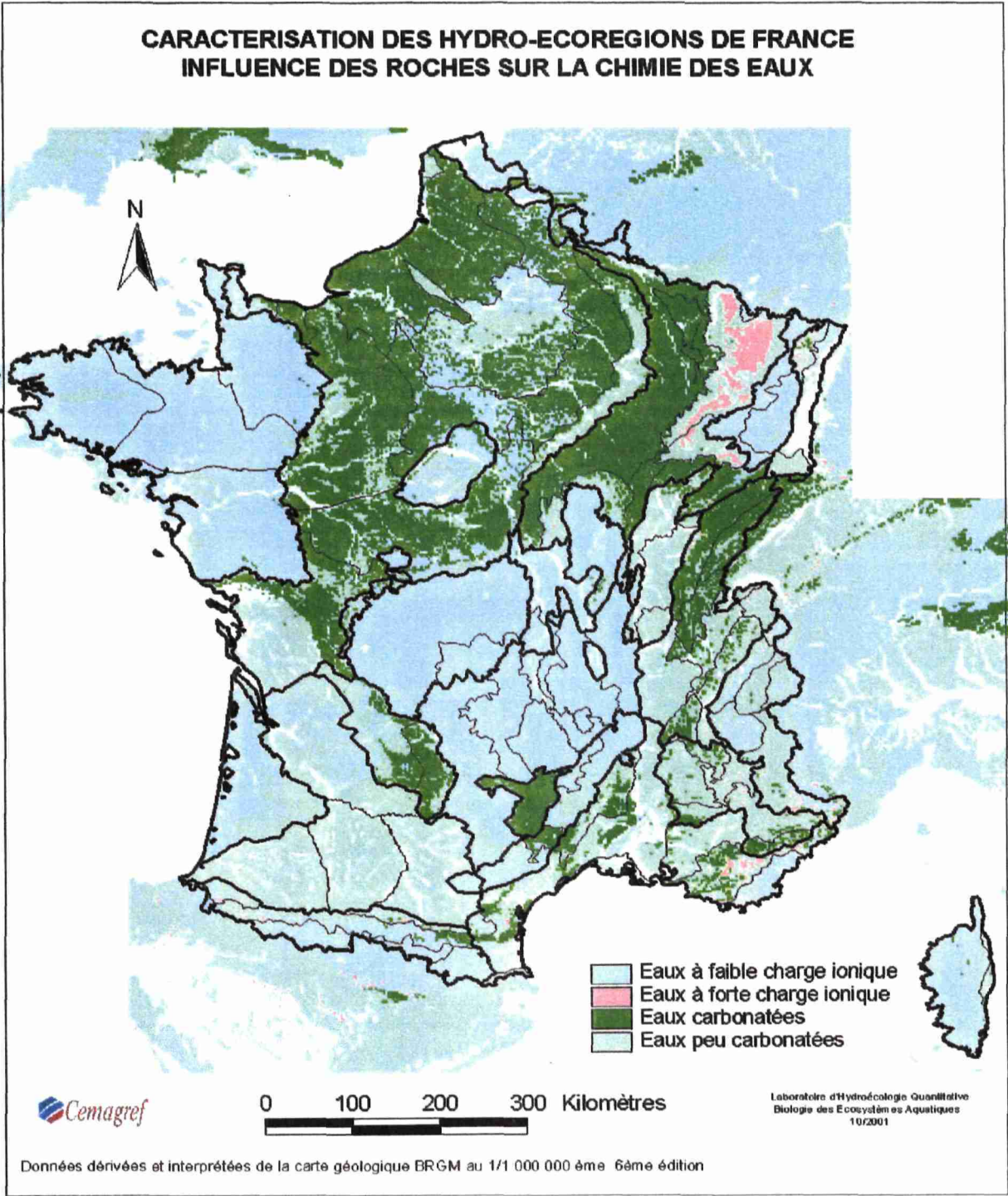
Trias Rt1 t1						Roches détritiques non carbonatées			
t 2	Roches détritiques non carbonatées	Roches détritiques non carbonatées	Roches détritiques non carbonatées	Marnes à éaporites	Marnes à éaporites	Séries carbonatées Marnes à éaporites (est)	Roches détritiques non carbonatées	Roches détritiques non carbonatées	Calcaires
t2-3 t3			Marnes a éaporites						(t t3)Marnes à éaporites
Lias jur . inférieur j1	Marnes et séries carbonatées		Série carbonatée	Marnes ou calcaire	Série carbonatée	Marnes	Marnes	Série carbonatée	Série carbonatée
Dogger jur.moyen j2	calcaires	Calcaires		Série carbonatée	Marnes ou série carbonatée	Calcaires Série carb. (à l'ouest)	calcaires	Série carbonatée ou calcaires	Série carbonatée ou marnes ou calcaires
Malm jur. sup j3	calcaires			calcaires	Marnes ou série carbonatée	Calcaires (marnes à l'ouest)	Calcaires Séries carb. au N W	Série carbonatée ou calcaires	Calcaires ou série carbonatée
Crétacé inférieur c1			Calcaires et séries carbonatées (faciès flysch)	Série carbonatée	Marnes (sauf faciès urgonien)	Marnes	Série carbonatée	Marnes	Calcaires ou série carbonatée
Crétacé supérieur c2		Série carbonatée		craie	calcaires	Craie	Série carbonatée	Série carbonatée	(faciès flysch) série carbonatée
Paléocène e1 e			(e molasse) Série carbonatée		Roches détritiques carbonatées (sauf faciès flysch)	Variable	Variable	Roches détritiques carbonatées	série carbonatée (faciès flysch)
Eocène e2			molasse			Marnes	Argiles et sables	Roches détritiques carbonatées	
Oligocène g	marnes			Roches détritiques carbonatées	molasses	Calcaires (sauf sables de F.)	Molasses/arg. Séries carb. au nord	Série carbonatée	molasse
Miocène m	Argiles et sables				molasses	Calcaires (sauf sables et argiles)	Molasses	molasses	molasse

Etage stratigraphique	Massif Central	Corse	Pyrénées	Jura	Alpes	Bassin parisien	Bassin Aquitain	Couloir Rhodanien	Région méditerranéenne
Pliocène Pq p	Argiles et sables	molasses			Roches détritiques Congl valensole	Sables et argiles	Molasses	Roches détritiques carbonatées Marnes Saône	Roches détritiques
pléistocène q1 q2 q1-2						Limon et loess	Alluvions fluviatiles (terrasses)	Alluvions fluvio glaciaires	
Holocène q3	Alluvions fluviatiles			Alluvions fluviatiles	Alluvions fluviatiles	Alluvions fluviatiles	Alluvions fluviatiles	Alluvions fluviatiles	Alluvions fluviatiles

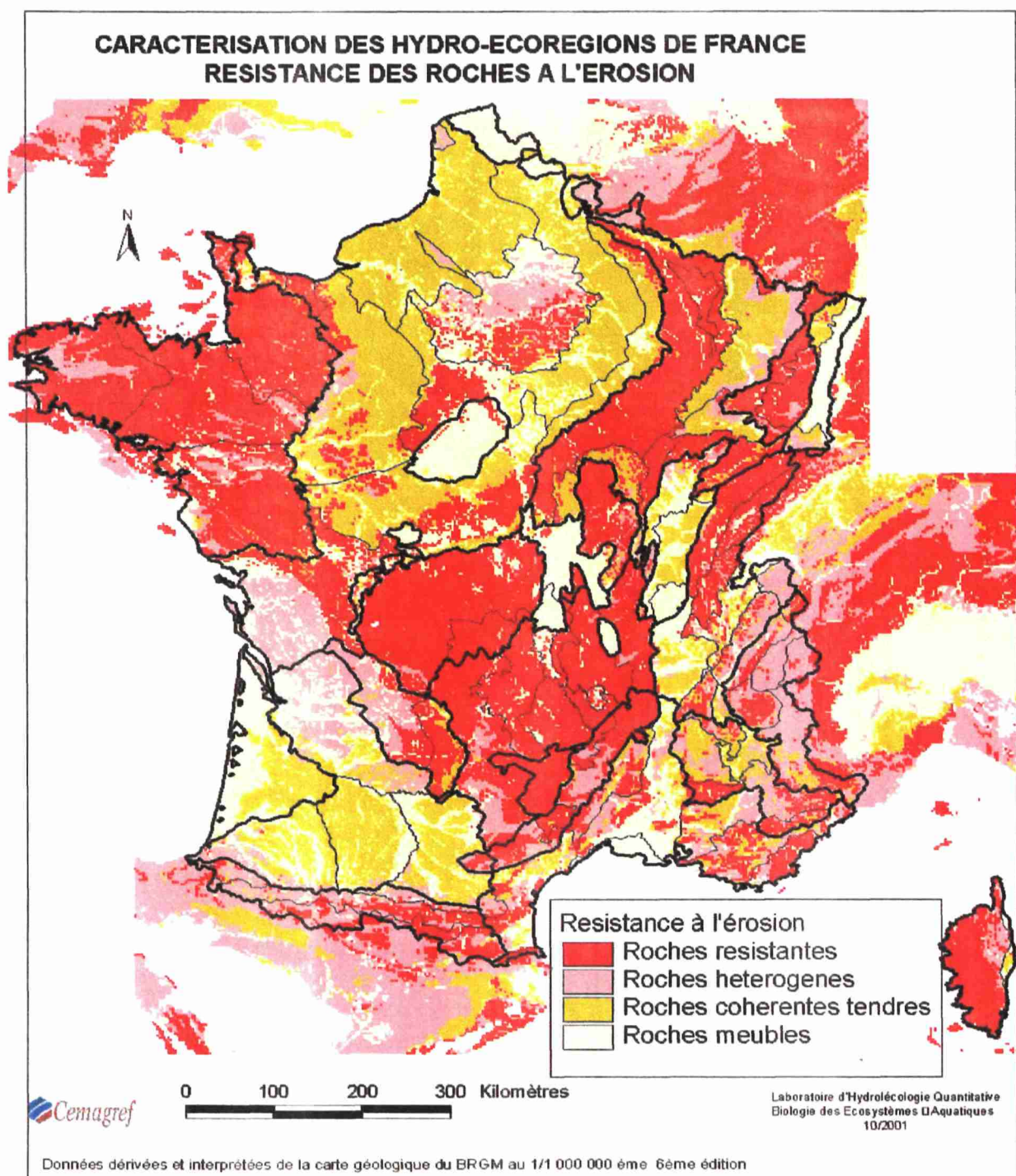
Carte 1.4. Types de roches



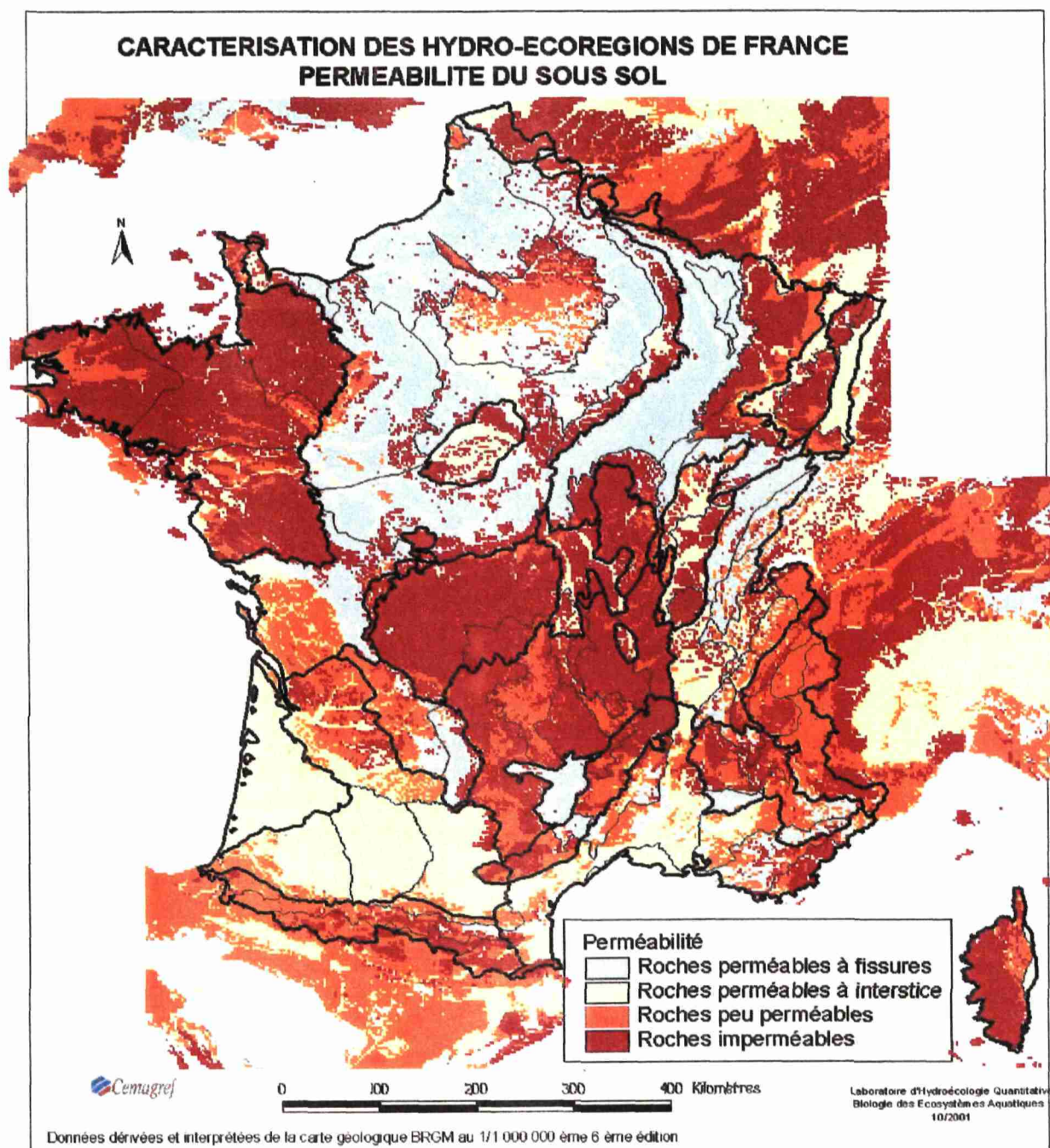
Carte 1. 5 Influence de la nature des roches sur la chimie de l'eau



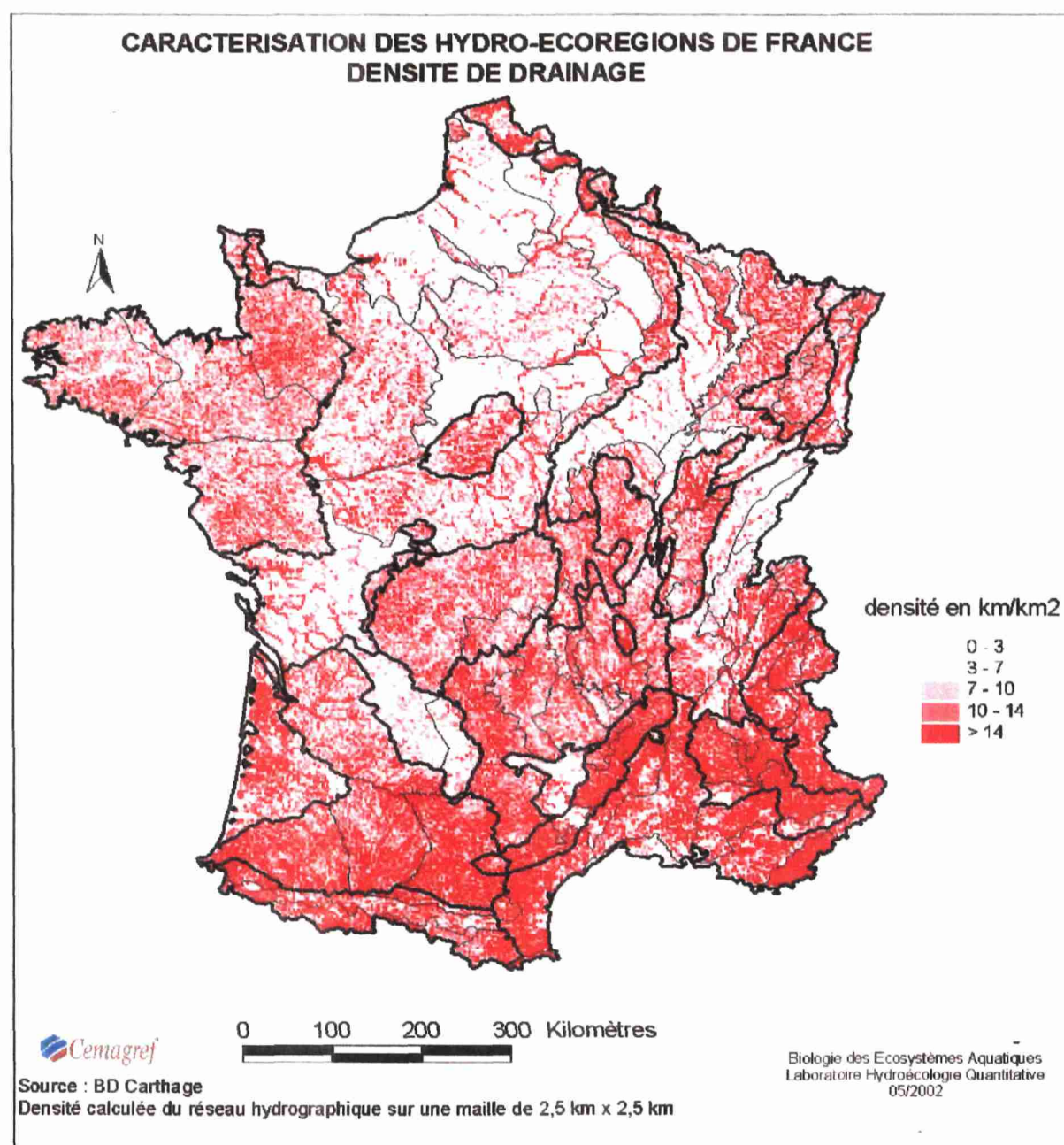
Carte 1.6. Résistance des roches à l'érosion



Carte 1.7. Perméabilité du sous sol



Carte 1.8. Densité du réseau hydrographique



Annexe 2 Le relief (données géographiques)

L'altitude

Source

La couche d'information utilisée est le Modèle Numérique de Terrain (MNT) de l'IGN au pas de 250 m, mis à disposition par l'IFEN dans le cadre de la présente convention.

Traitement de l'information

L'information de type raster est ici utilisée sans transformation autre que la définition de classes d'altitude.

Deux méthodes différentes ont été utilisées pour définir des classes d'altitude, afin d'utiliser l'information la plus fine selon l'étendue et la nature du territoire géographique étudié :

- 12 classes, générées à partir d'une analyse en surfaces équivalentes à l'échelle de la France, et adaptées en zone de montagne pour une meilleure discrimination de l'étage alpin (> 1800m) ;
- 24 classes résultant d'une méthode de calcul basée sur les « discontinuités naturelles » (natural breaks),

Note : Cette méthode des « naturel breaks », propre au module « Spatial Analyst » du logiciel ®Arcview, identifie des points d'inflexion entre les classes en utilisant une formule statistique dite « Jenk's optimisation », qui consiste à minimiser la somme des variances de chacune des classes. Ce type de répartition a l'avantage de faire ressortir les groupes de valeurs inhérentes aux données, et sera utilisé pour d'autres variables.

La pente

- Une carte des pentes des terrains, dérivée du MNT IGN au pas de 250 m, a également été mis à disposition par l'IFEN dans le cadre de cette étude

De la même façon, deux définitions de classes ont été utilisées pour utiliser l'information la plus fine possible :

- 12 classes établies à partir d'une classification en surface équivalentes ;
- 12 classes en « discontinuités naturelles » (natural breaks).

Relief ombré (Hillshade)

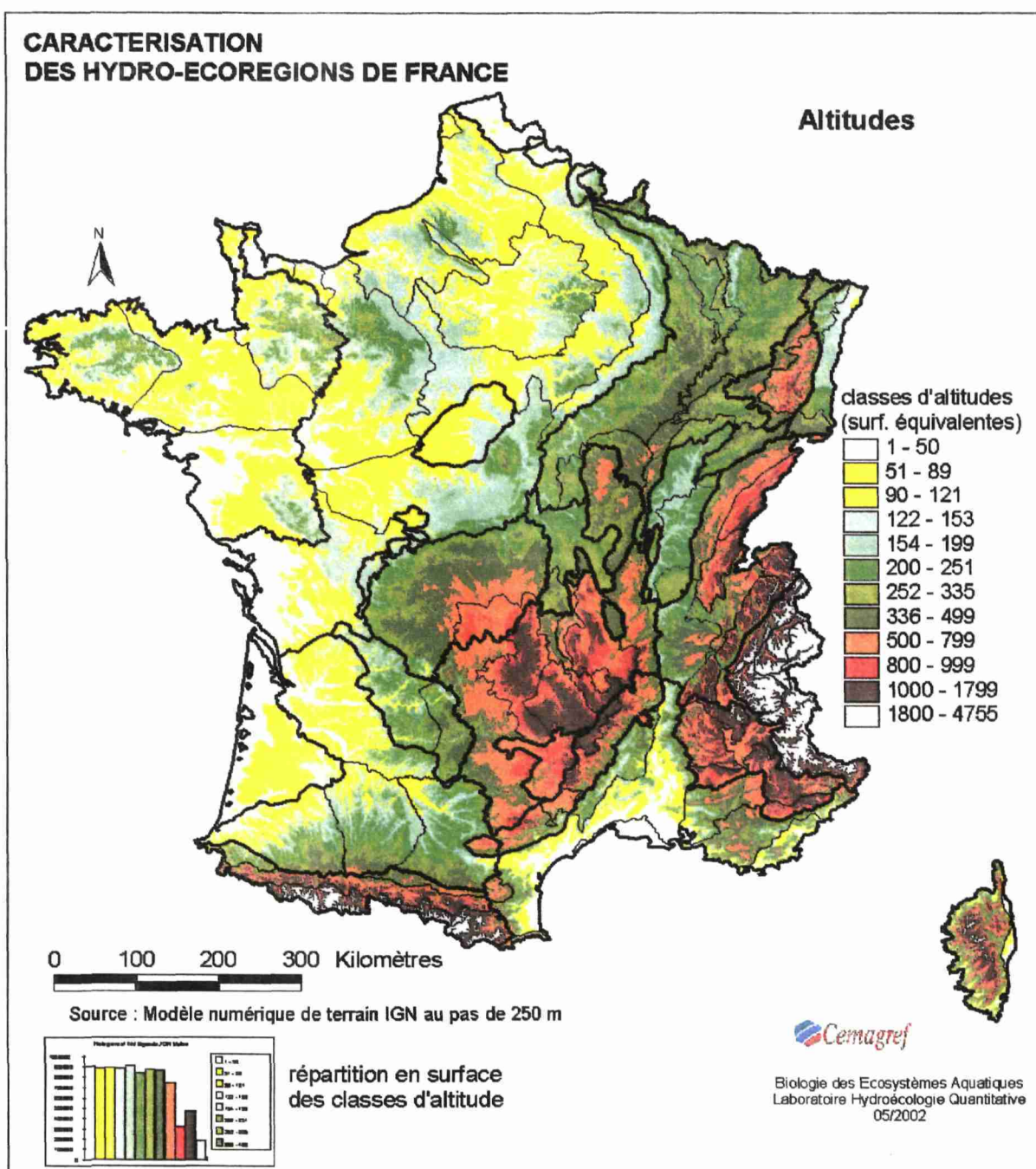
Ce mode de transformation des données du MNT permet de visualiser les formes du relief en affectant des niveaux de gris représentant l'ombre à partir d'une direction d'éclairement (position du soleil) choisie par l'opérateur.

Le résultat permet de visualiser les formes du relief et d'identifier les discontinuités entre zones de morphologie différente.

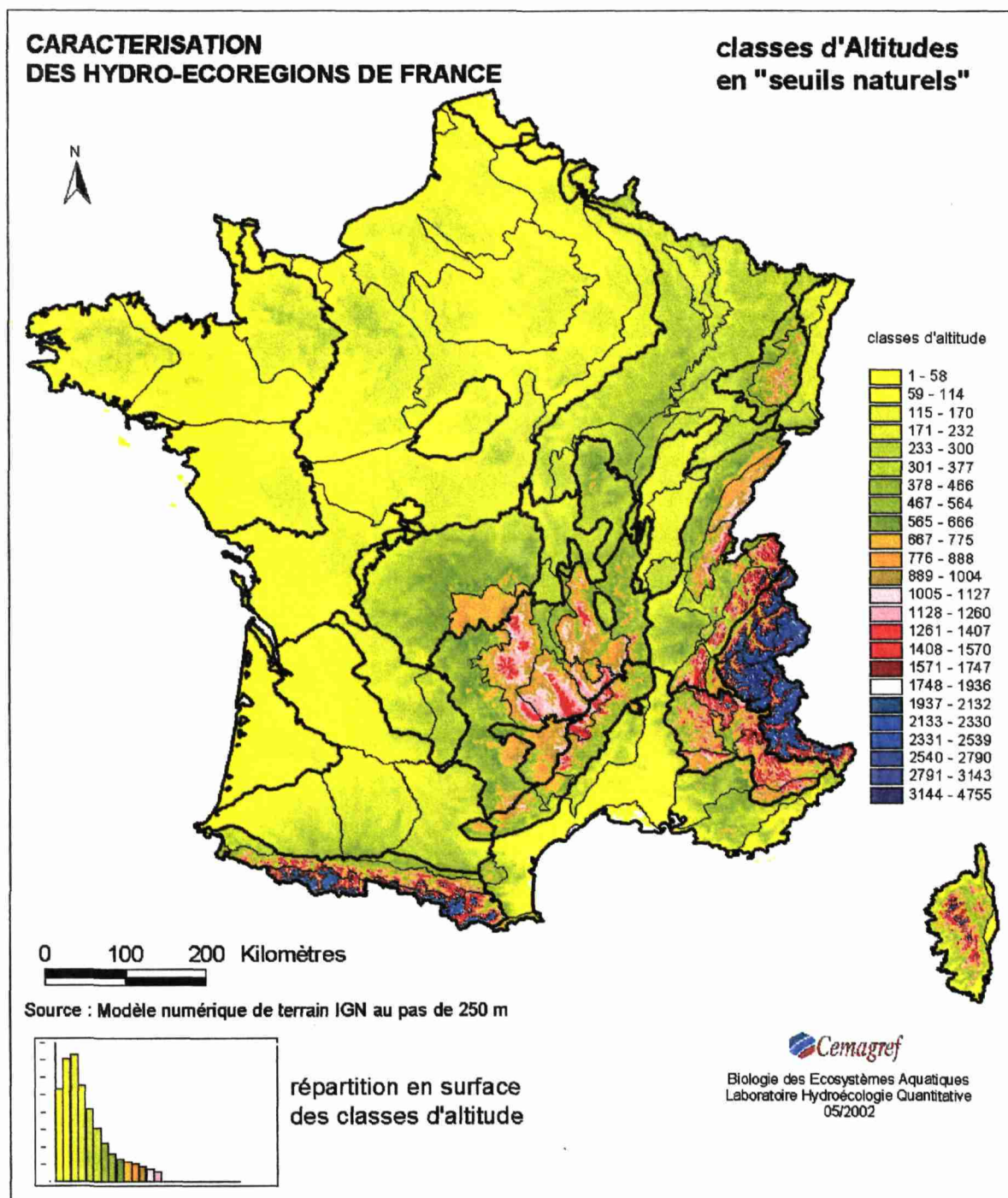
Pentes des vallées (thalwegs)

A partir du MNT, un réseau de drainage théorique a été reconstitué, et sur ce réseau, les pentes des tronçons entre deux « confluences » ont été calculées.

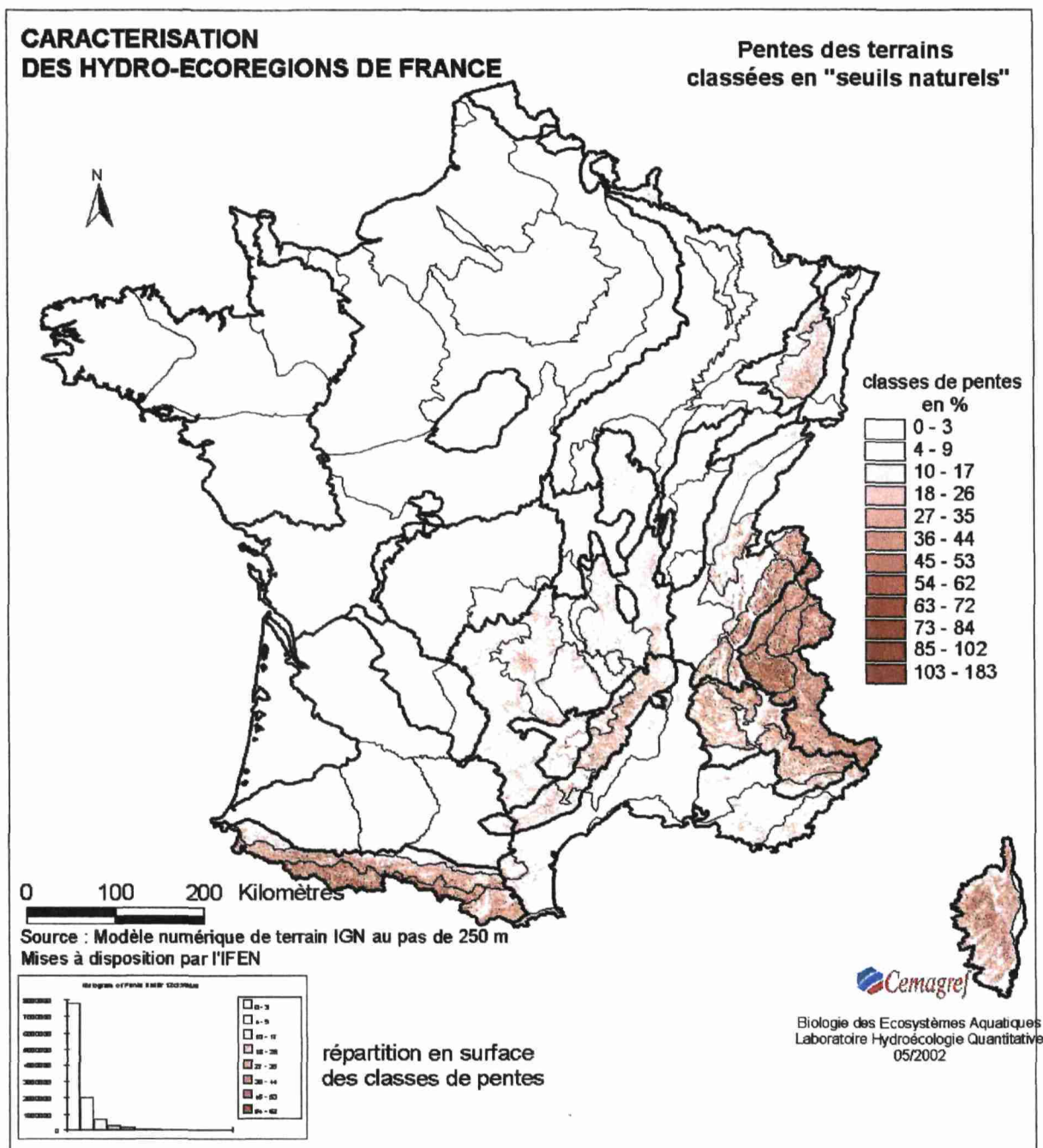
Le résultat permet de visualiser à grande échelle les valeurs dominantes des pentes de thalweg, très proches des pentes réelles des vallées. Il facilite ainsi le contrôle de la discrimination opérée à partir du relief.



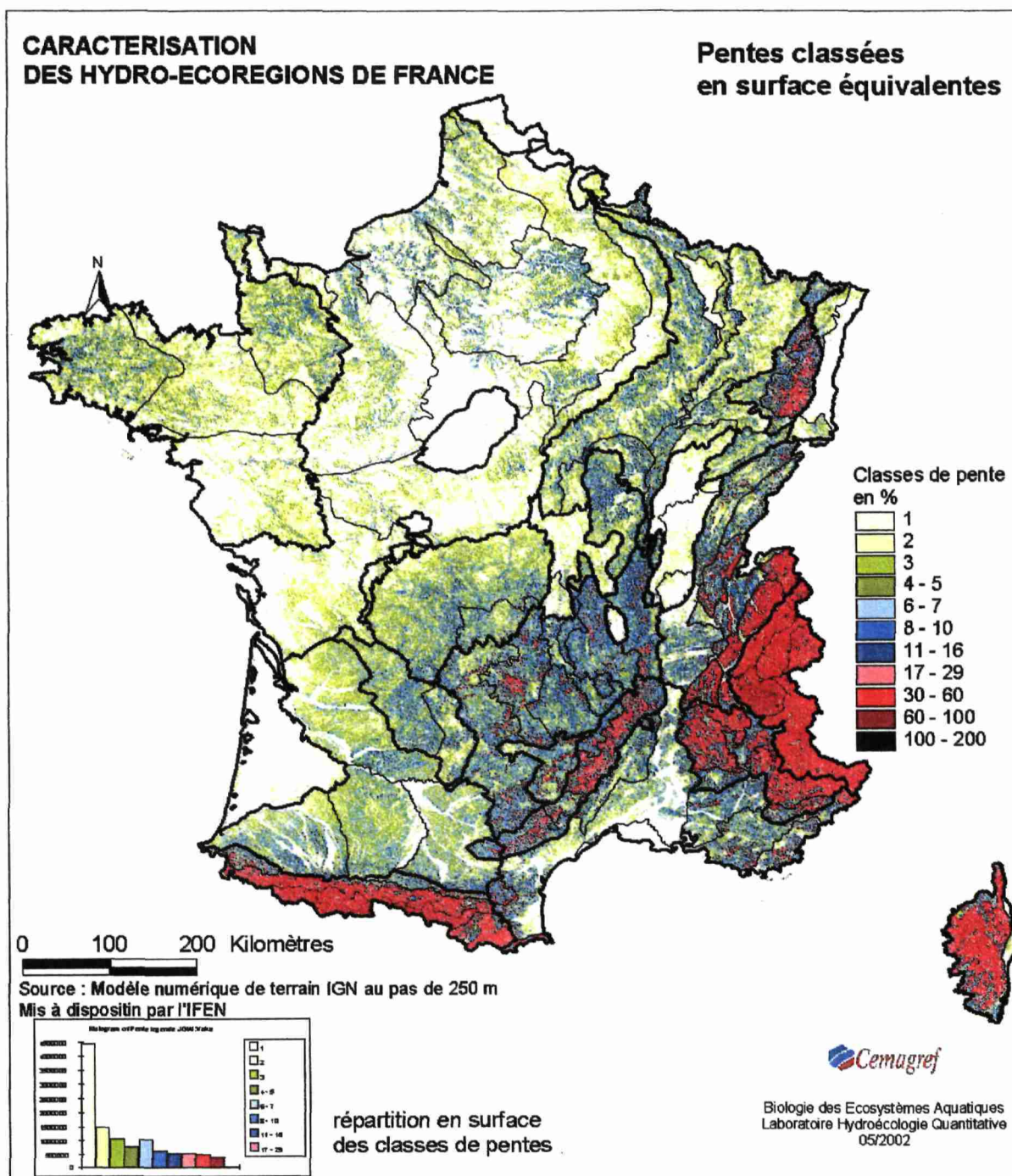
Carte 2.1. Altitudes en surfaces équivalentes



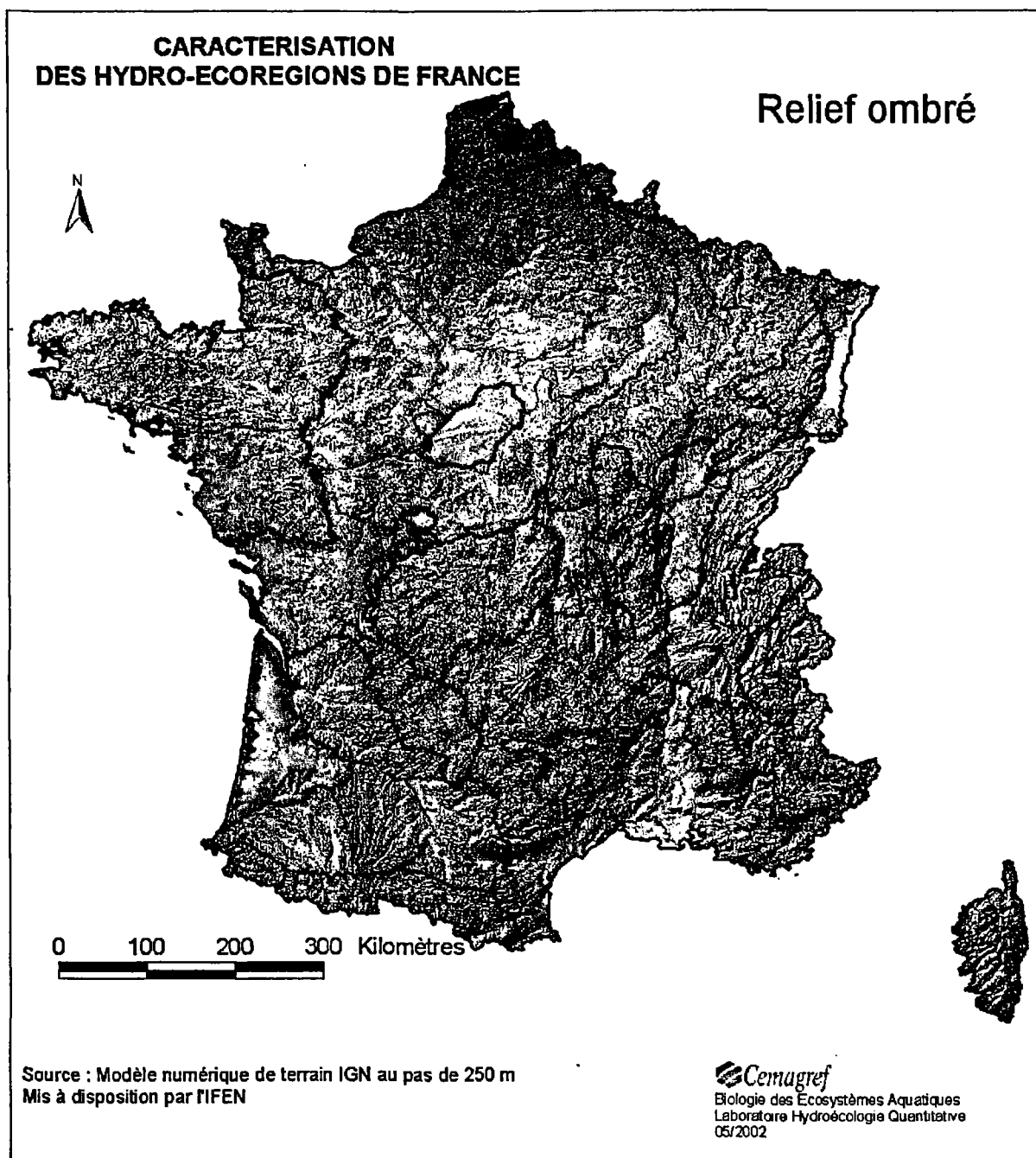
Carte 2.2. Altitudes classées en « seuils naturels »



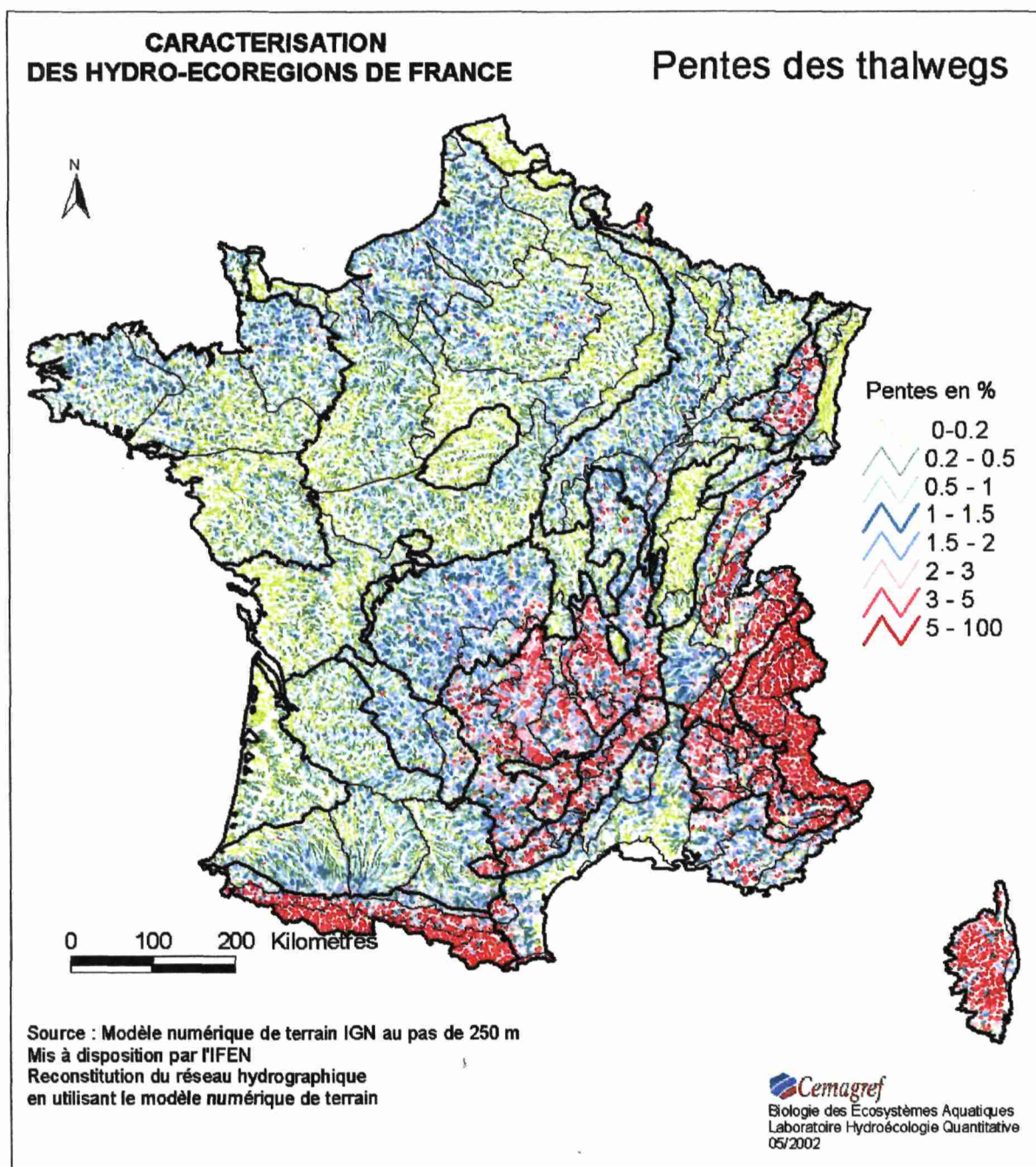
Carte 2.3. Pentes des terrains classées en « seuils naturels »



Carte 2.4. Pentes des terrains classées en surfaces équivalentes



Carte 2.5. Représentation du relief « ombrée »



Carte 2.6. Pentes des thalweg

Annexe 3 Le climat (données géographiques)

Toutes les données climatiques utilisées dans cette étude proviennent de Météo France. Les données de précipitations moyennes mensuelles sur la période 1960-1990 nous ont été communiquées par l'IFEN dans le cadre de la convention. Les valeurs, fournies par Météo France en mode raster sur une maille carrée de 5km de côté, ont été extrapolées spatialement en utilisant la méthode AURHELY.

***Note - AURELHY (Analyse Utilisant le RELief pour l'HYdrométéorologie) :** La méthode AURELHY a été conçue en 1986 à la Subdivision d'Hydrométéorologie de la Direction de la Météorologie Nationale pour répondre de façon automatique et opérationnelle à des besoins en cartographie de paramètres statistiques relatifs à la pluviométrie. Cette méthode peut se résumer grossièrement de la façon suivante :*

1 - Identification de la liaison statistique existant entre le paramètre à étudier et le relief environnant le point de mesure (par "relief environnant," on entend forme générale du paysage sur un domaine carré de 50 km de côté centré sur un point).

2 - Utilisation optimale de cette liaison statistique aux points où l'on ne dispose pas de valeur mesurée.

3 - Obtention de la carte régionale du paramètre, intégrant au mieux les effets du relief.

Les données concernant les températures et les pluies maximales sur 24 heures ont été acquises par le Cemagref, groupement de Lyon.

Précipitations annuelles moyennes (période 1960 – 1990)

Cette carte donne des valeurs sur une maille de 5km de côté.

La légende comprend 8 classes, la médiane étant centrée sur 1 200 mm.

Précipitations saisonnières

Les valeurs mensuelles ont été cumulées par saison :

- hiver : décembre, janvier, février
- printemps : mars, avril, mai
- été : juin, juillet, août
- automne : septembre, octobre, novembre

Cartes de saisonnalité

Trois cartes sont dérivées des précédentes :

- une carte de la saison de précipitation minimale ;
- une carte de la saison de précipitation dominante ;
- une carte de l'écart de précipitation entre saison .

Ces cartes se sont avérées pertinentes pour identifier les tendances de continentalité et surtout délimiter la région méditerranéenne au sens climatique.

Carte des précipitations maximales sur 24 heures de période de retour 10 ans

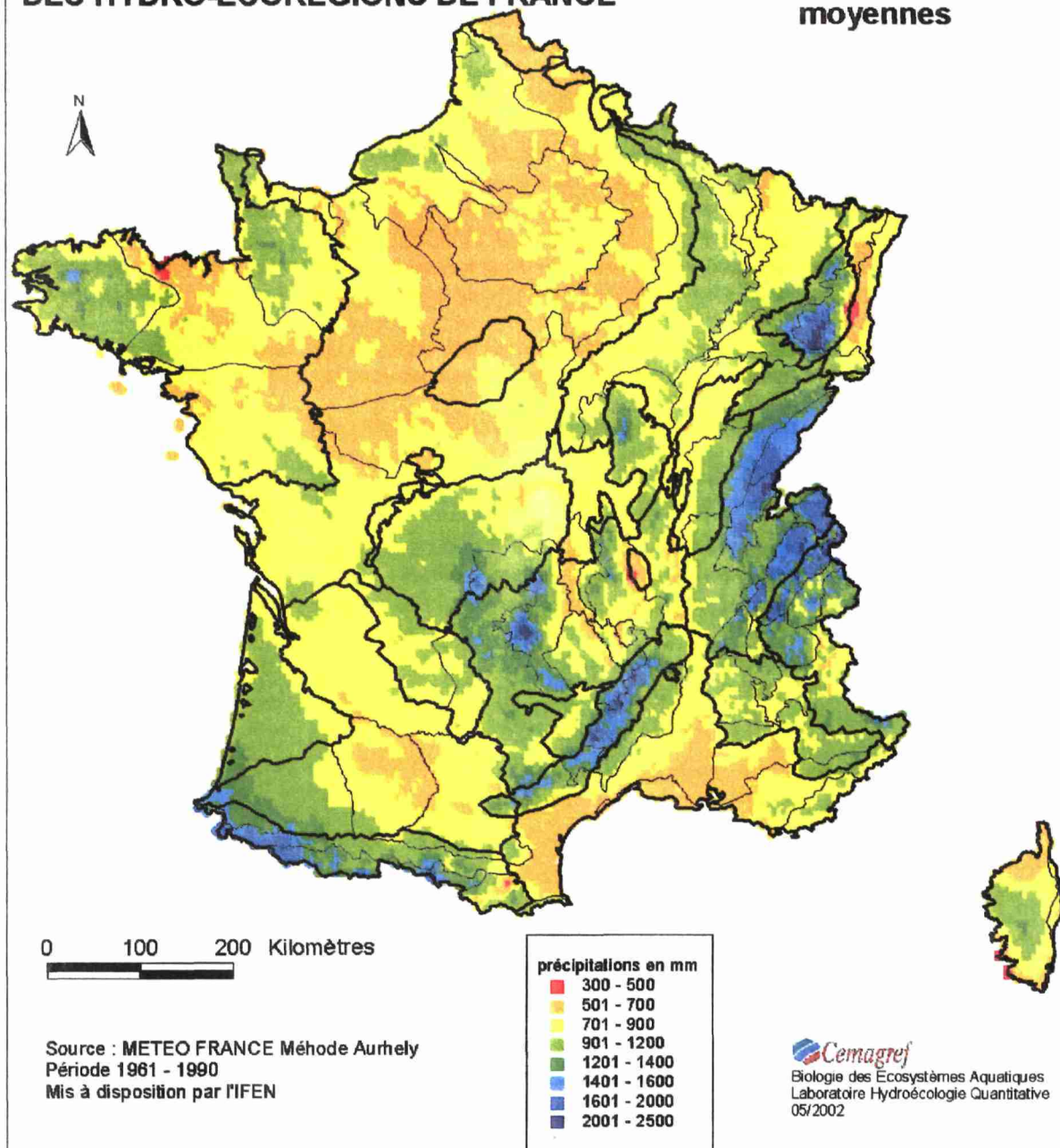
Cette information a permis de préciser le contour de la région cévenole caractérisée par ses conditions hydrologiques extrêmes.

Carte des températures maximales du mois de juillet

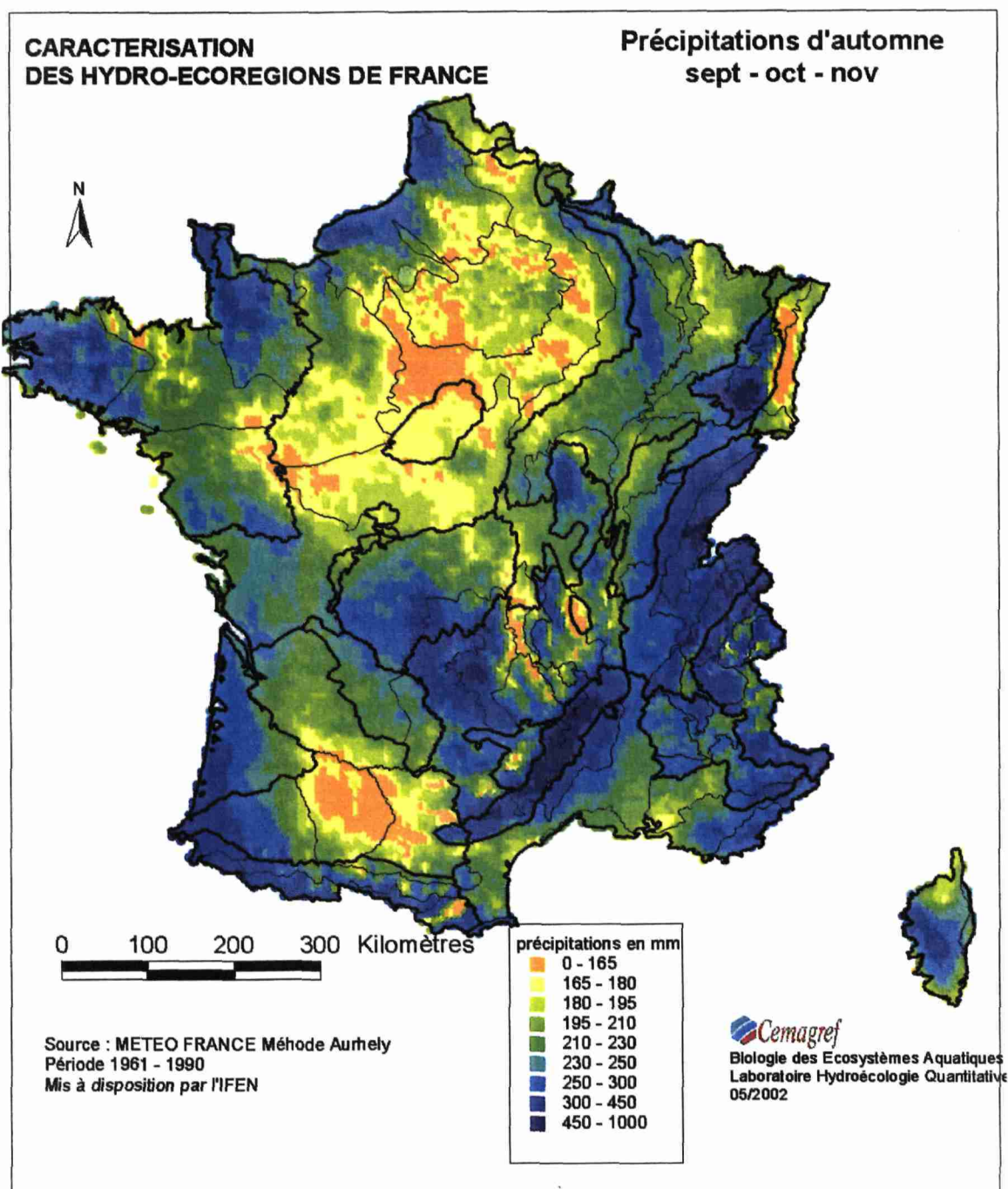
Cette carte illustre l'une des variables reconnues comme un facteur important pour expliquer la distribution des espèces aquatiques, et pour le bilan hydrique .

CARACTERISATION DES HYDRO-ECOREGIONS DE FRANCE

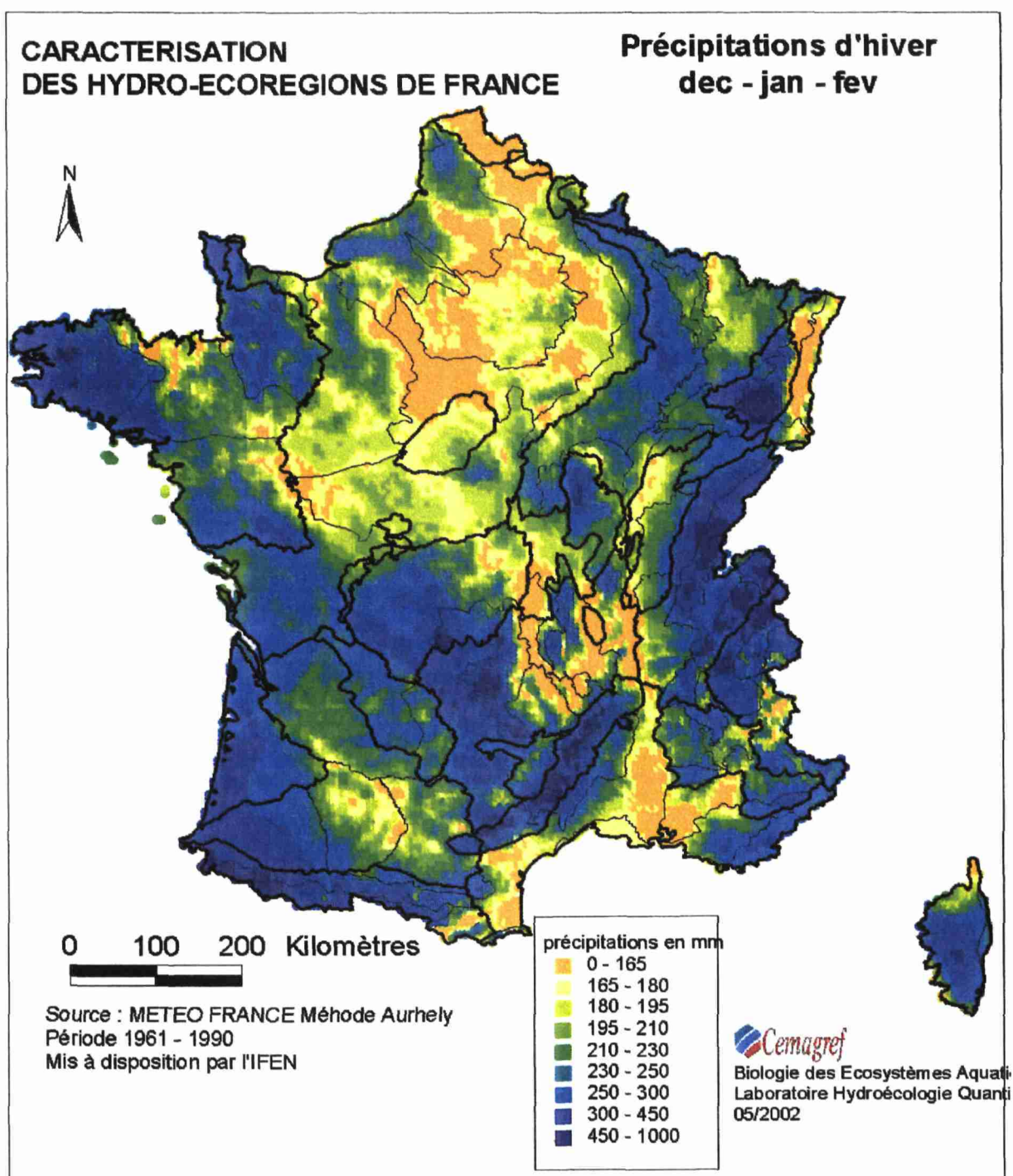
Précipitations annuelles moyennes



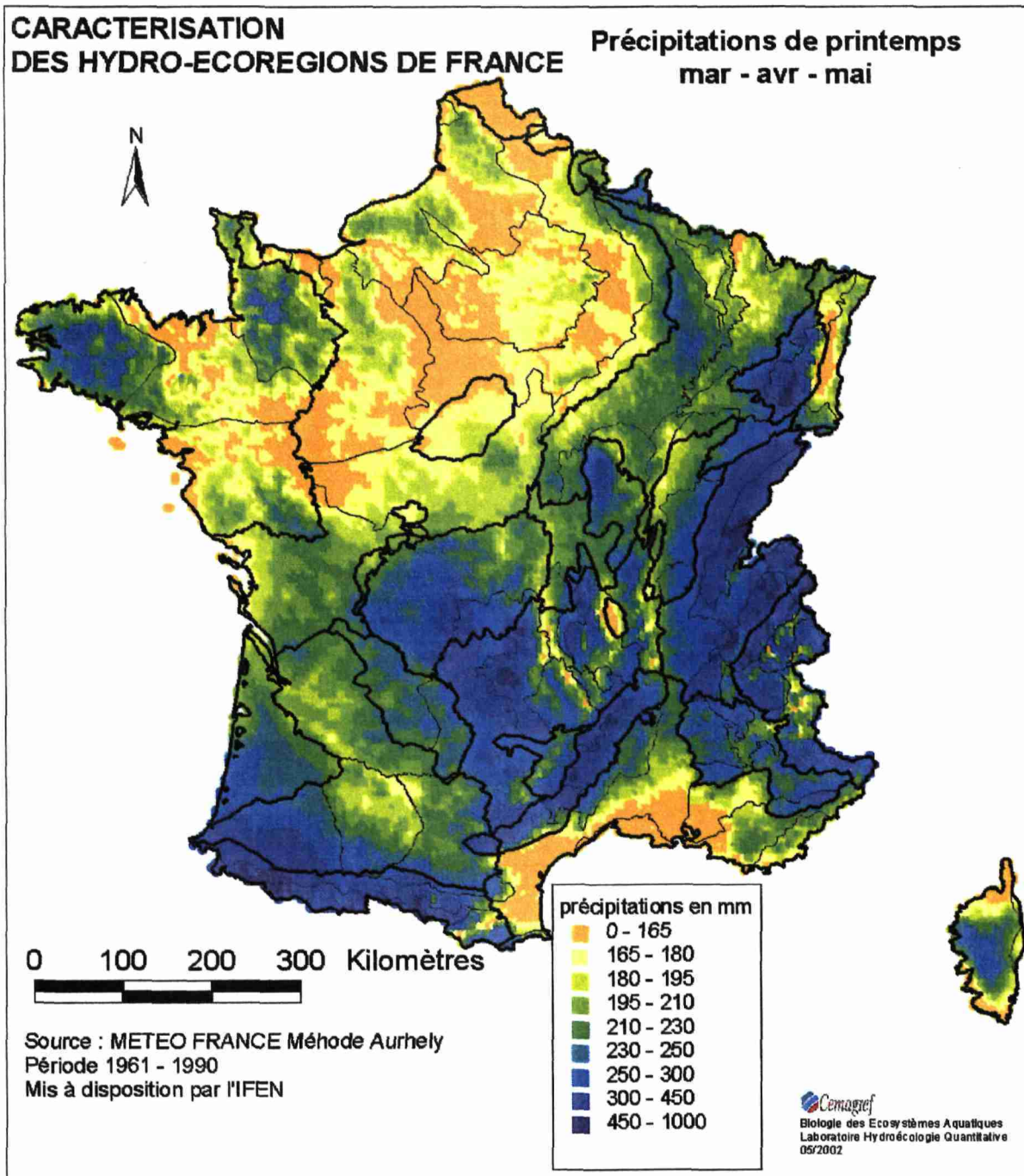
Carte 3.1. Précipitations annuelles moyennes



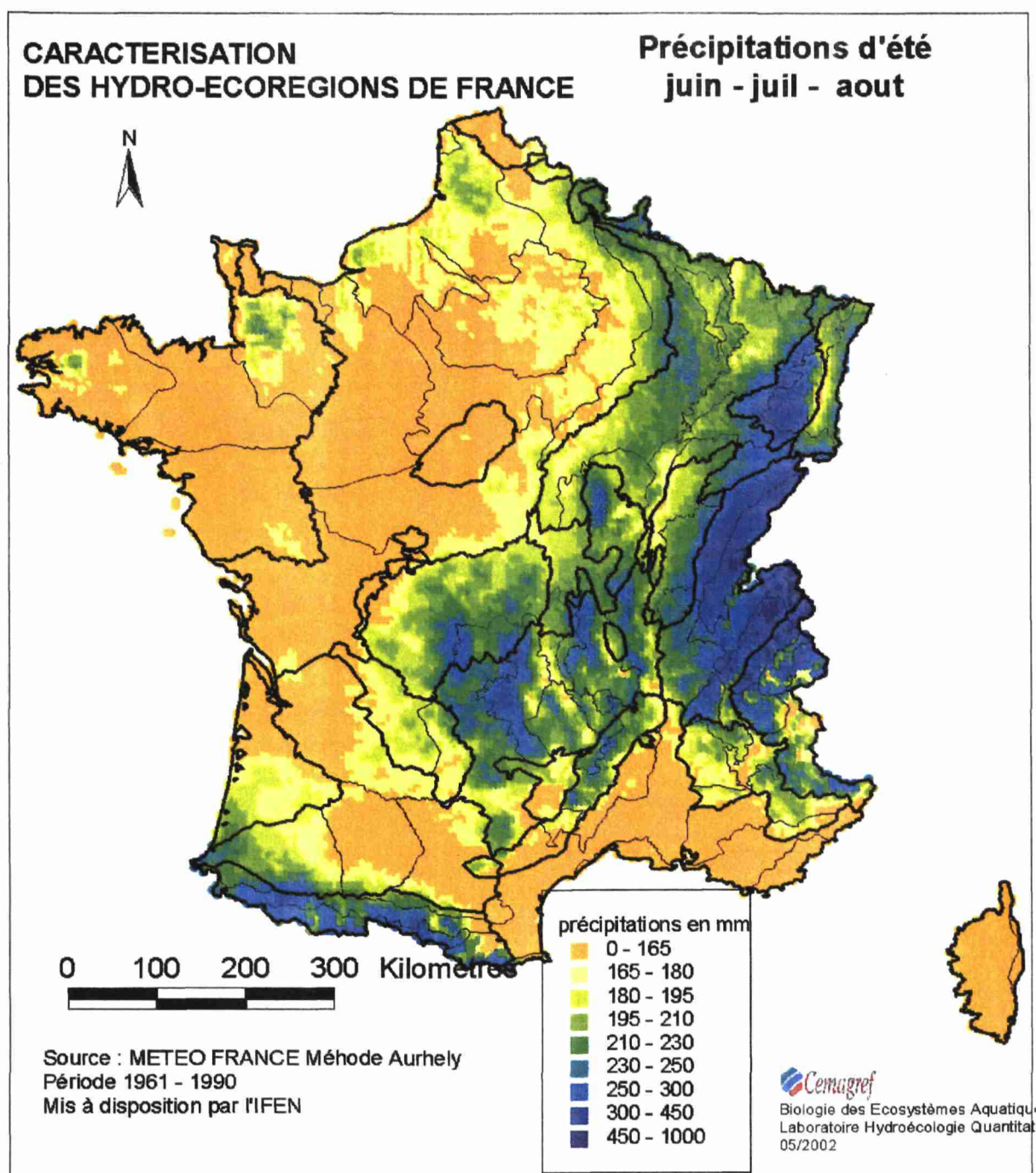
Carte 3.2. Précipitations d'automne



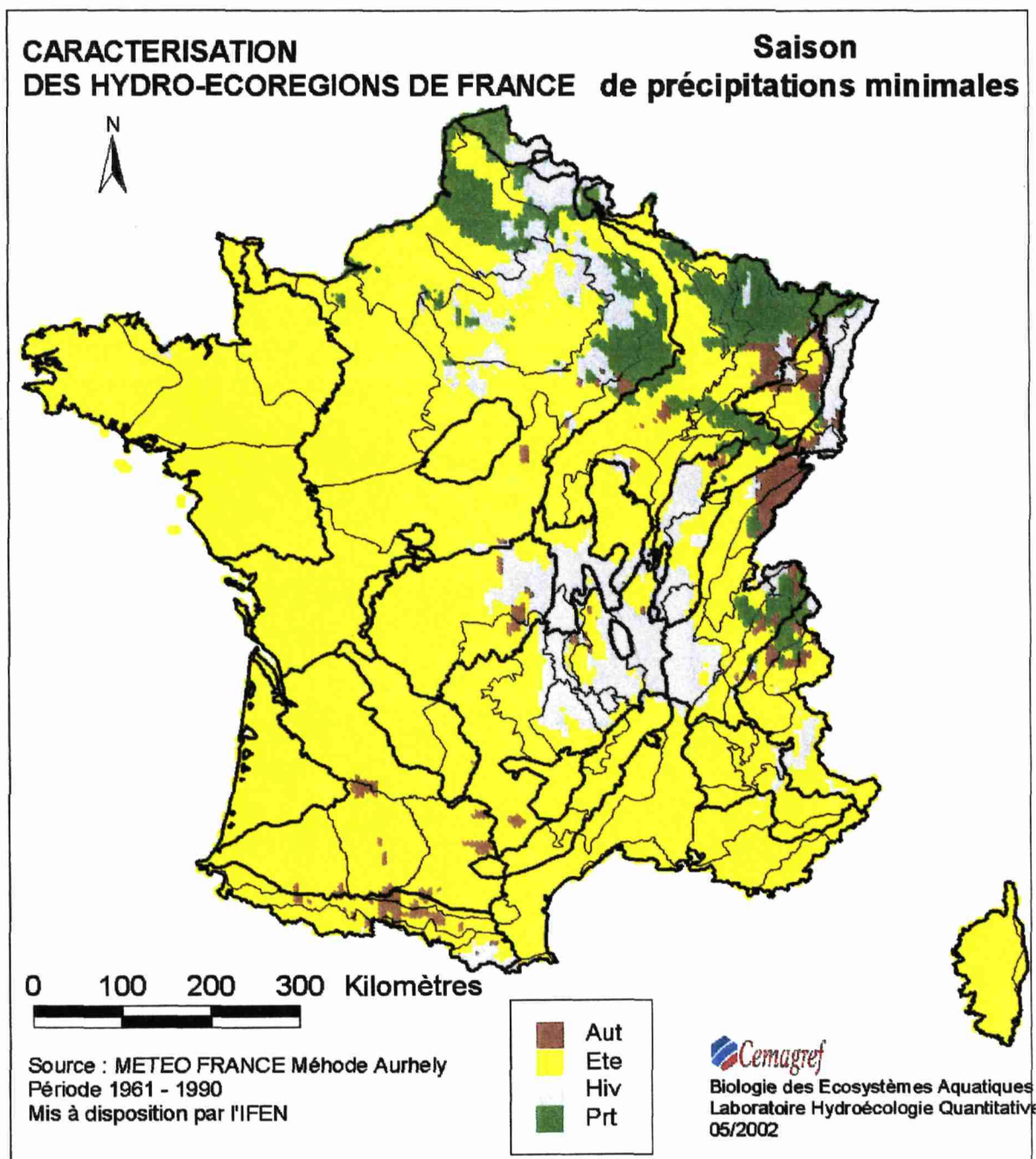
Carte 3.3. Précipitations d'hiver



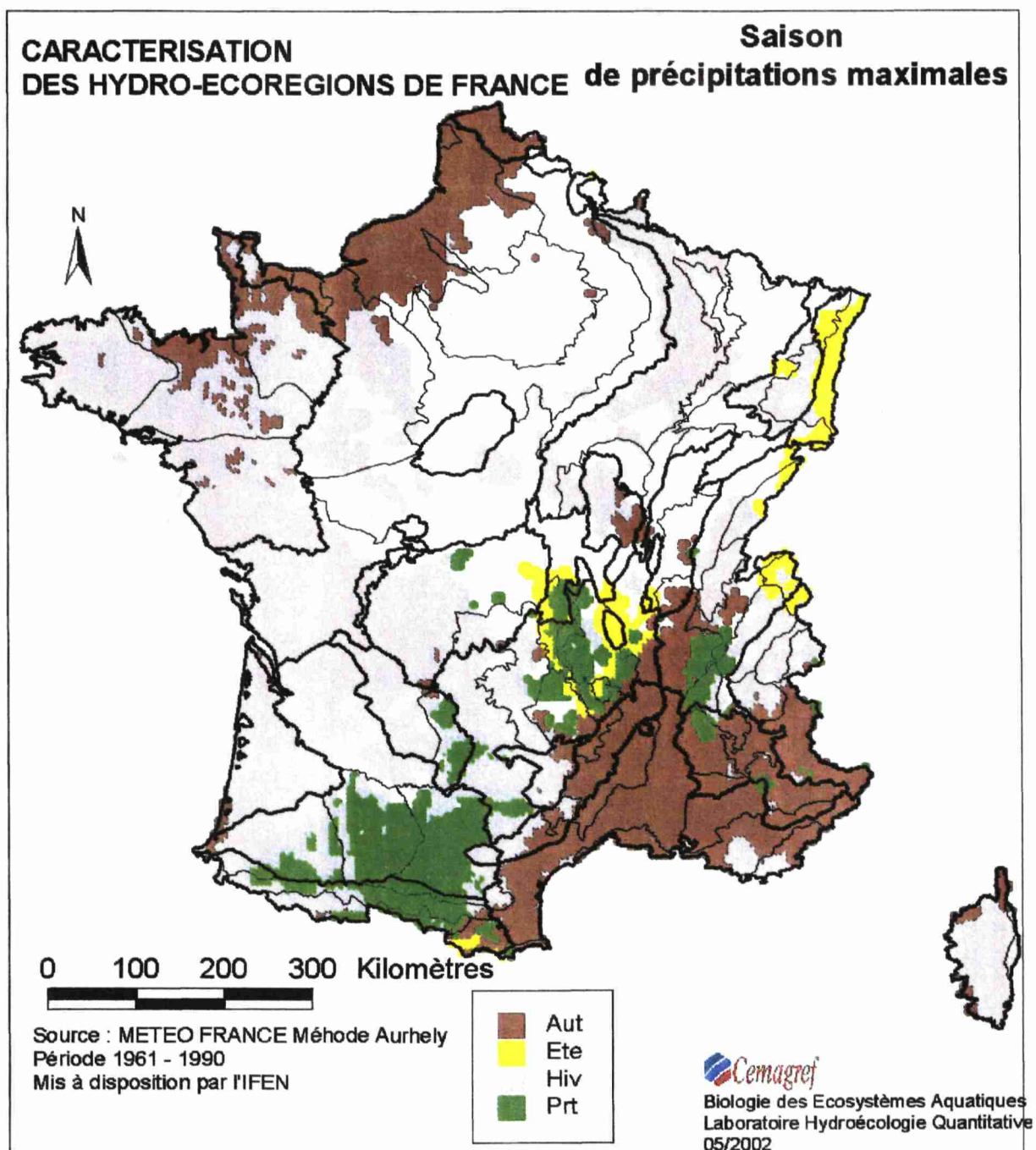
Carte 3.4. Précipitations de printemps



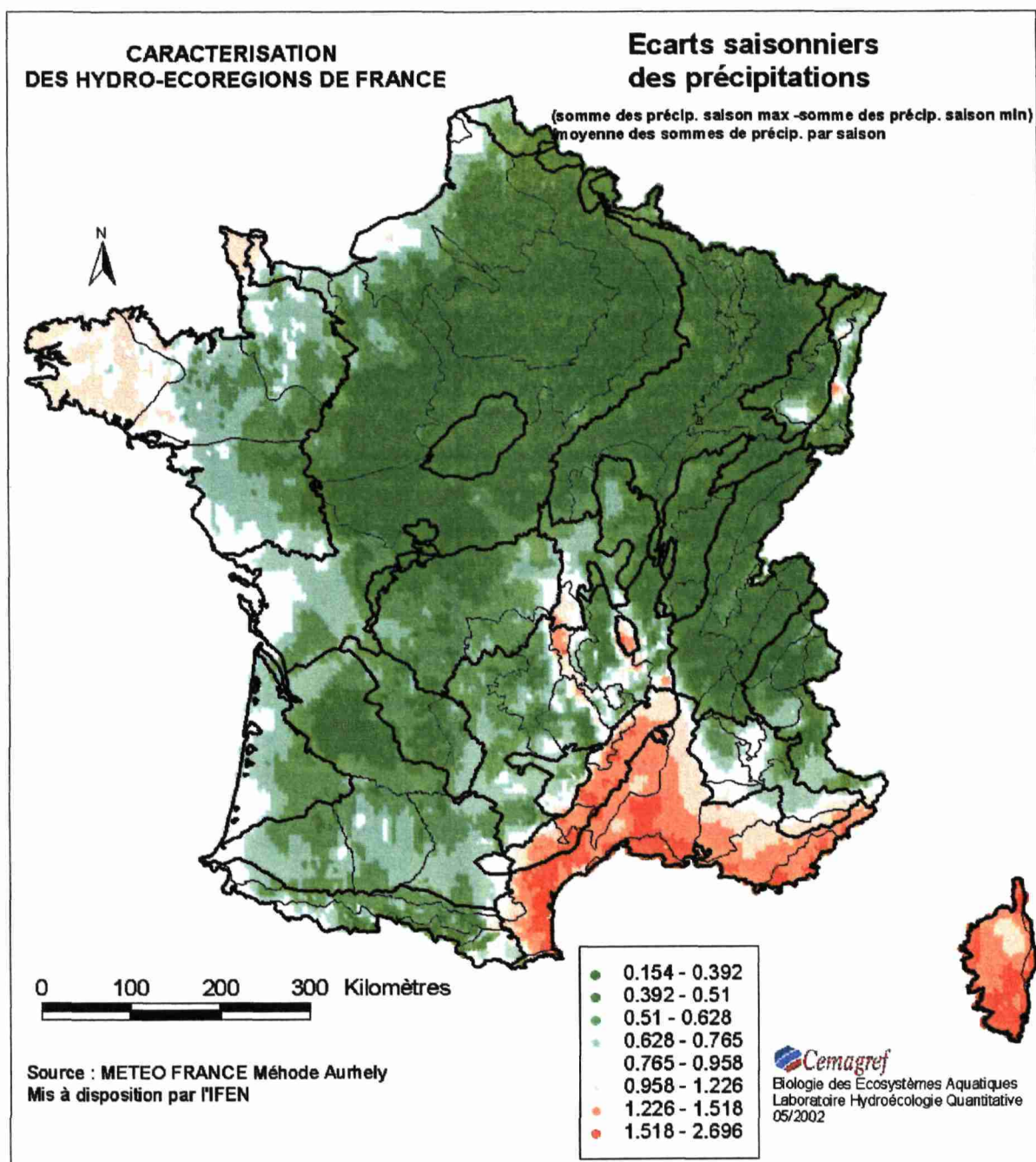
Carte 3.5. Précipitations d'été



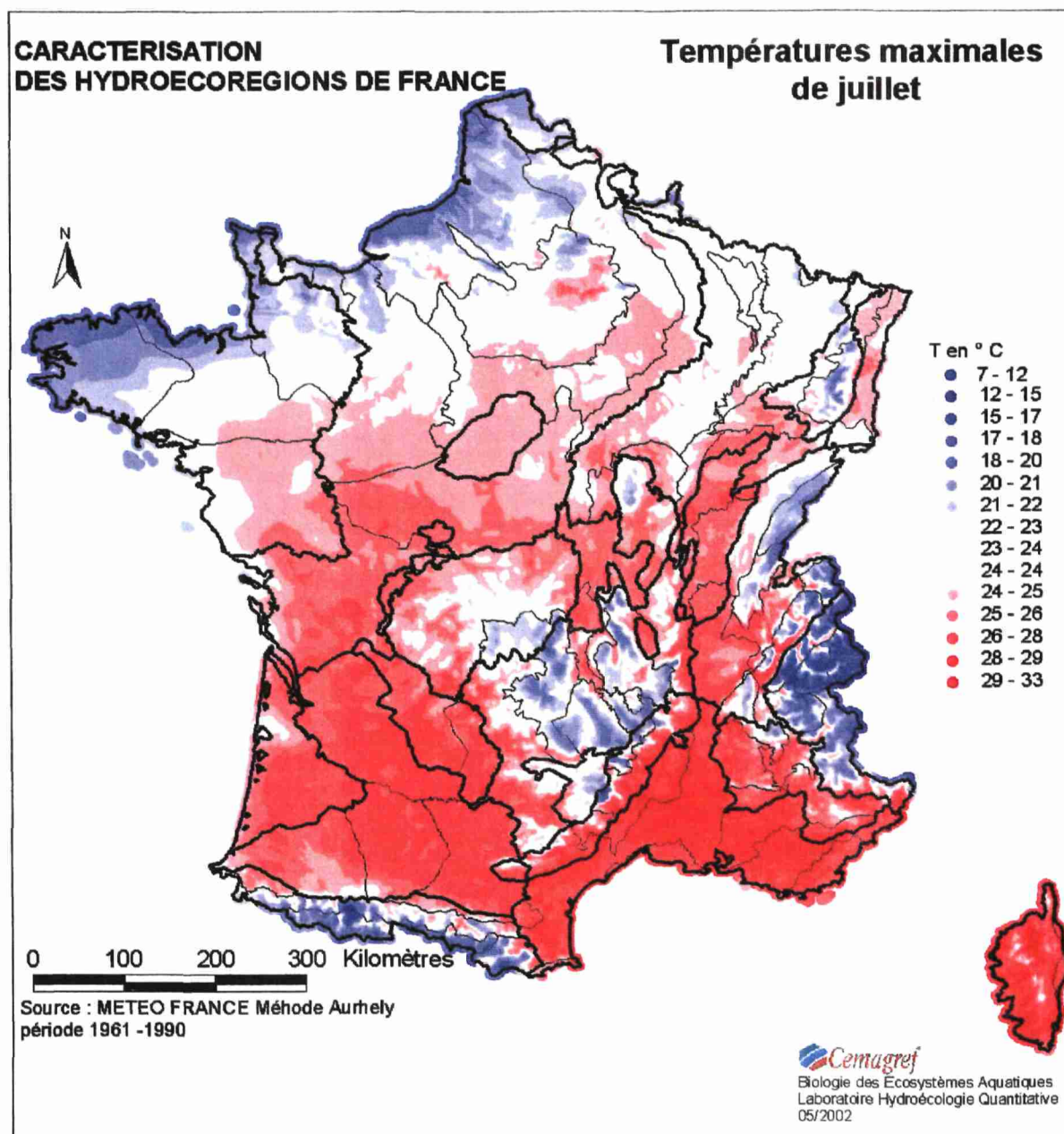
Carte 3.6. Saison de précipitations minimales



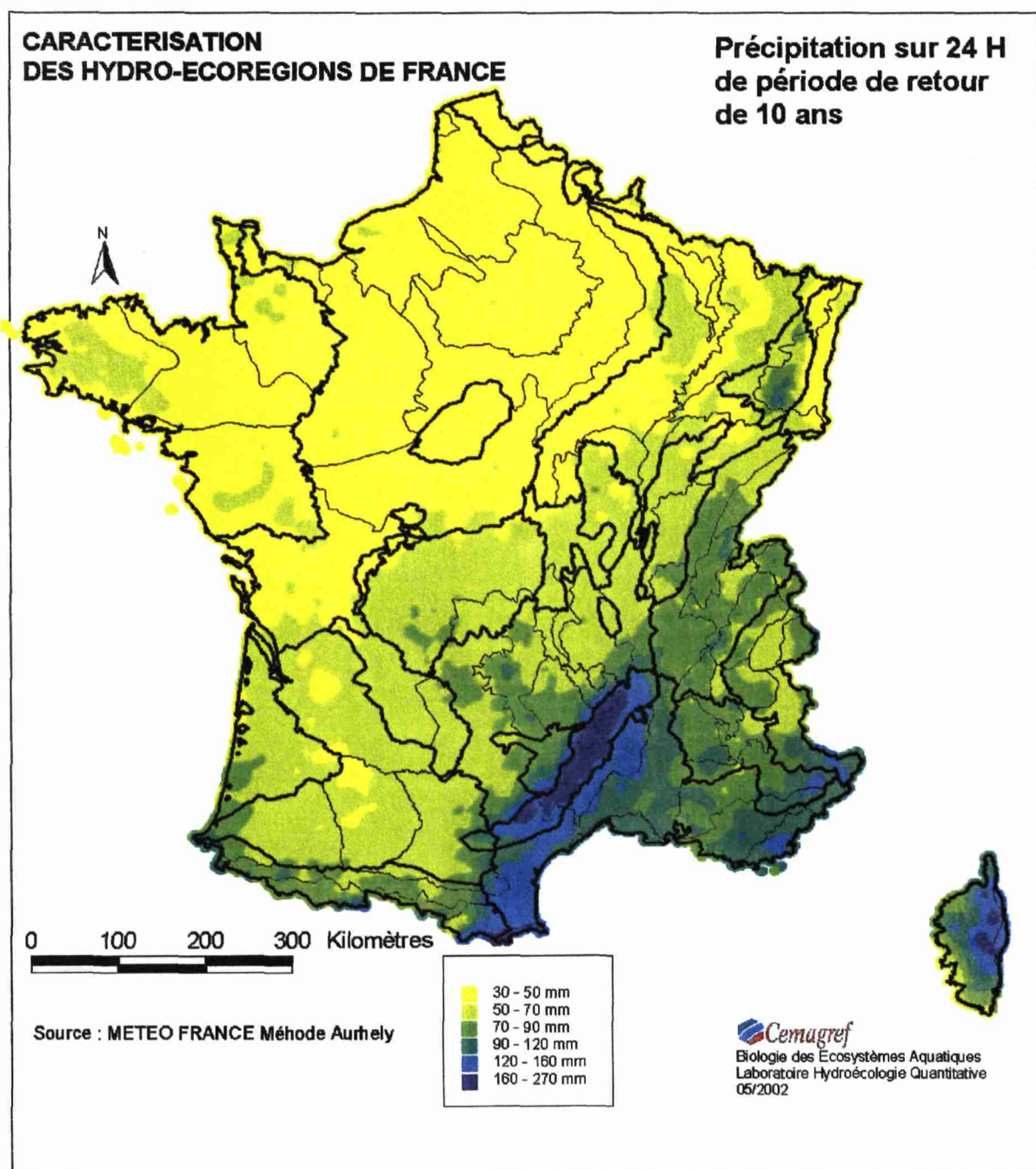
Carte 3.7. Saison de précipitations maximales



Carte 3.8. Ecart saisonnier des précipitations



Carte 3.9. Températures maximales du mois de juillet



Carte 3.10. Précipitations sur 24 Heures de période de retour 10 ans

Annexe 4 Autres données géographiques

Carte des régions écologiques de Dupias et Rey (1980)

Cette carte est basée sur la répartition de la végétation naturelle potentielle, à partir d'une analyse des formations ou associations phyto-écologiques dominantes. Le territoire national est découpé en zones de quatre niveaux hiérarchiques différents.

La base phyto-sociologique de cette carte fait ressortir de grandes zones géologiques et bio-climatiques : la correspondance avec la carte géologique est évidente aux premiers niveaux. Par ailleurs, la végétation constitue un très bon indicateur des conditions bio-climatiques, en particulier du stress hydrique résultant de la combinaison saisonnière des températures et des précipitations, et donc du bilan hydrique disponible à l'écoulement.

Cette carte a donc été utilisée à son premier niveau comme trame de travail, notamment pour valider certaines limites géologiques et climatiques, à partir d'une ré-interprétation vis à vis du fonctionnement des milieux aquatiques.

Support de travail : la Base de Données CarThAge

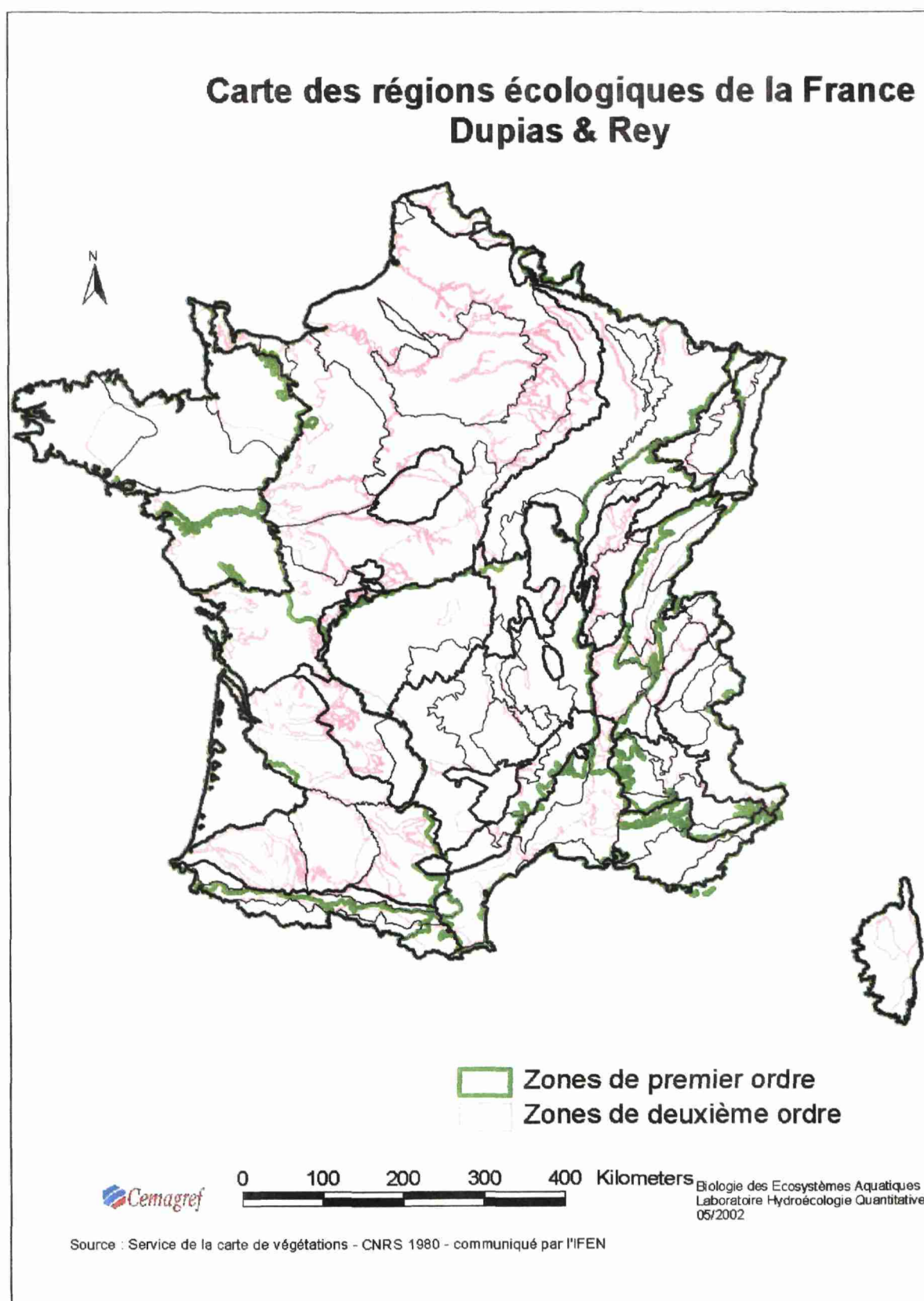
Mise à disposition par l'IFEN dans le cadre de cette étude, la BD « Carthage » - acronyme de **B**ase de **D**onnées de **C**artographie **T**hématique des **A**gences de l'Eau – constitue le référentiel spatial commun à l'ensemble des organismes publics en charge de missions liées à la gestion de l'eau.

Elle a été constituée à partir des fichiers numériques de la ® BD CARTO de l'Institut Géographique National saisis à l'échelle du 1/50.000^{ème}.

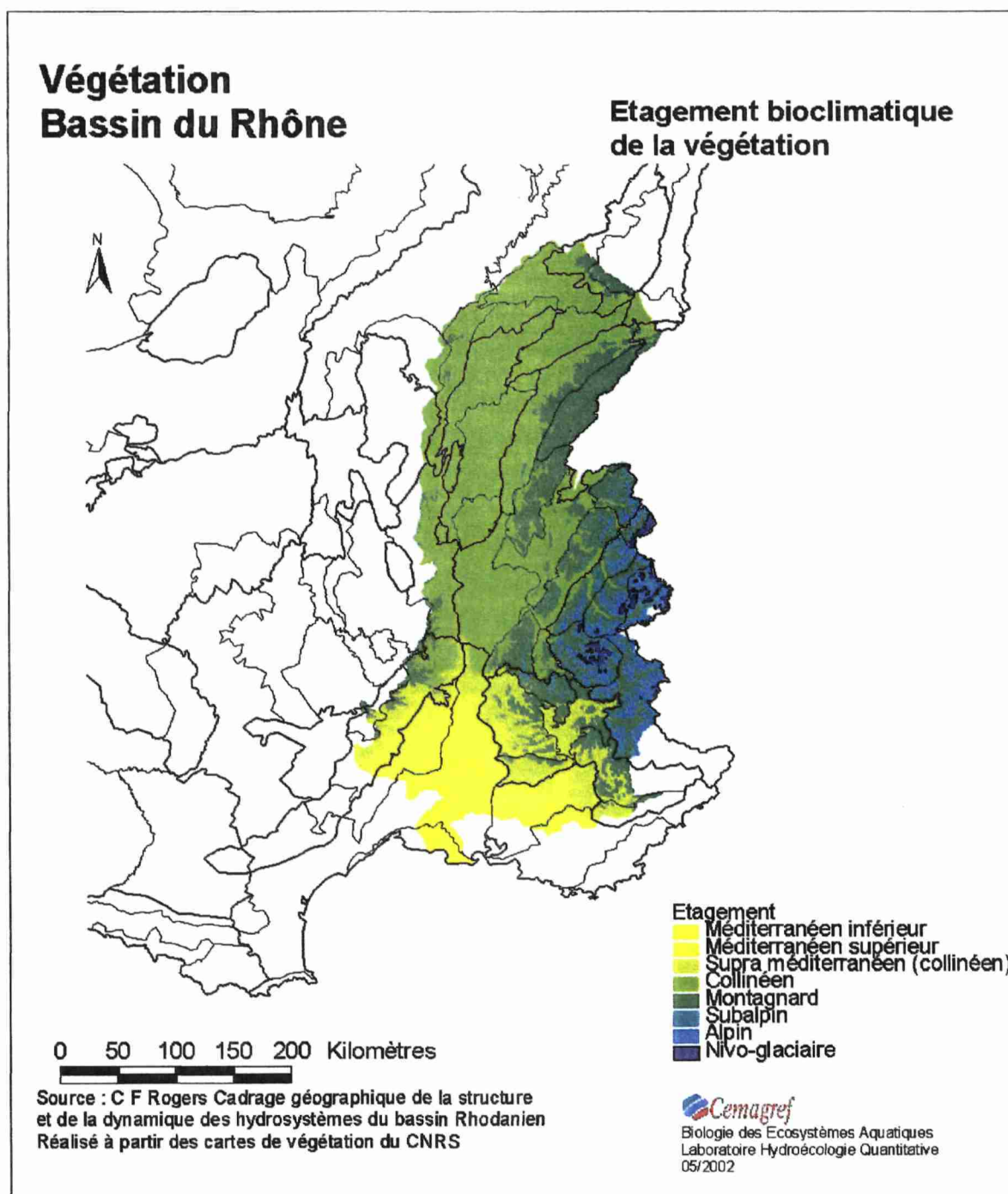
Ces fichiers ont fait l'objet des traitements suivant sous la responsabilité des agences de l'eau :

- mise à jour des unités administratives,
- rétablissement de la continuité des cours d'eau ;
- densification du réseau hydrographique et des plans d'eau ;
- ajout de la codification surfacique et linéaire ;
- PK métrage,

Les thèmes « Réseau hydrographique », « Zonage hydrographique », « hydrographie zonale » ont été utilisés dans le cadre de cette étude.



Carte 4.1. Cartes des régions écologiques de Dupias & Rey



Carte 4.2. Carte des étages bio climatique dans le Bassin du Rhône

Annexe 5 Description des hydro-écorégions de deuxième niveau

Etat descriptif des polygones élémentaires

Les numéros affectés aux hydro-écorégions correspondent aux n° figurant dans le fichier de la couche d'information géographique.

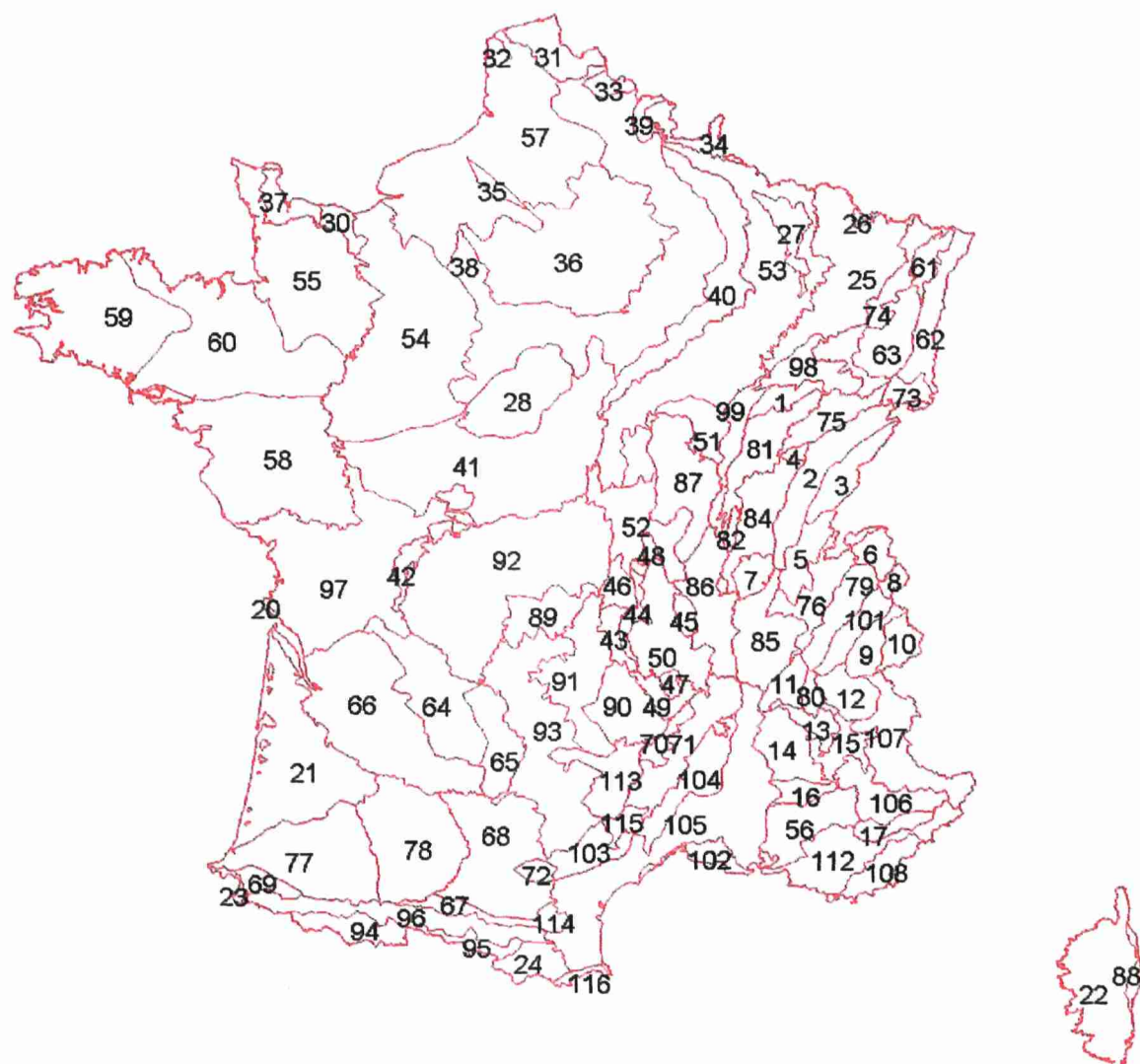
Par souci de commodité les hydro-écorégions de deuxième niveau sont regroupées par hydroécorégion de premier niveau

Le tableau de correspondance suivant permettra au lecteur de se repérer sur la carte des hydro-écorégions de niveau 2.

CODE HER1	Nom HER_1	code HER2	nom her2
1	PYRENEES	23	Cf 96 Pyrénées étage montagnard
1	PYRENEES	24	Pyrénées orientales
1	PYRENEES	67	Bordure Pyrénéenne Centrale
1	PYRENEES	69	Bordure Pyrénéenne atlantique
1	PYRENEES	94	Pyrénées étage alpin et subalpin occidental
1	PYRENEES	95	Pyrénées étage alpin et subalpin central
1	PYRENEES	96	Pyrénées étage montagnard
2	ALPES INTERNES	8	Massif du Mont Blanc
2	ALPES INTERNES	9	Massif Schisteux Maurienne Tarentaise
2	ALPES INTERNES	10	Massif de la Vanoise
2	ALPES INTERNES	12	Massif de l'Oisans
2	ALPES INTERNES	101	Massif Beaufortain Belledonne
2	ALPES INTERNES	107	Alpes Internes du sud
3	MASSIF CENTRAL	43	Massif central -Dépressions internes
3	MASSIF CENTRAL	44	Massif central -Terres Granitiques orientales
3	MASSIF CENTRAL	47	Massif central -Dépressions du Puy
3	MASSIF CENTRAL	49	Hautes Terres Volcaniques orientales-
3	MASSIF CENTRAL	50	Hautes Terres Granitiques orientales
3	MASSIF CENTRAL	72	Montagne noire
3	MASSIF CENTRAL	86	Mont du Lyonnais - Pilat
3	MASSIF CENTRAL	90	Hautes Terres Granitiques - Margeride
3	MASSIF CENTRAL	91	Hautes Terres Volcaniques humides
3	MASSIF CENTRAL	93	Massif central - versant occidental
4	VOSGES	63	Vosges granitiques
4	VOSGES	74	Vosges gréseuses
5	JURA-PREALPES NORD	2	Jura premier plateau
5	JURA-PREALPES NORD	3	Jura nord
5	JURA-PREALPES NORD	5	Jura sud
5	JURA-PREALPES NORD	6	Massif Chablais Giffre
5	JURA-PREALPES NORD	11	Vercors nord
5	JURA-PREALPES NORD	76	Piedmont Alpes Jura
5	JURA-PREALPES NORD	79	Massifs Calcaires Chartreuse Aravis
5	JURA-PREALPES NORD	80	Vallée du Drac
5	JURA-PREALPES NORD	85	Collines du Bas Dauphiné
6	MEDITERRANNEEN	56	Collines de Basse Provence
6	MEDITERRANNEEN	102	Plaine littorale méditerranéenne
6	MEDITERRANNEEN	104	Garrigues sub cévenoles
6	MEDITERRANNEEN	105	Plaine méditerranéenne
6	MEDITERRANNEEN	108	Maures Esterel
6	MEDITERRANNEEN	112	Collines calcaires de Basse Provence
6	MEDITERRANNEEN	114	Corbières
6	MEDITERRANNEEN	116	Bordure Orientale des Pyrénées
7	PREALPES DU SUD	13	Dévoluy Vercors sud
7	PREALPES DU SUD	14	Préalpes drômoises Baronnies

CODE HER1	Nom HER_1	code HER2	nom her2
7	PREALPES DU SUD	15	Gapençais Embrunais
7	PREALPES DU SUD	16	Plateau calcaire de Provence - Ventoux
7	PREALPES DU SUD	17	Plateaux calcaires de Provence
7	PREALPES DU SUD	106	Préalpes Digne Haute vallée du Var
8	CEVENNES	70	Haute Loire Cévenole
8	CEVENNES	71	Cévennes
8	CEVENNES	103	Montagne Noire Climat cévenol
8	CEVENNES	115	Causses cévenoles
9	TABLES CALCAIRES	29	Flandres maritime
9	TABLES CALCAIRES	30	Pays de Caen
9	TABLES CALCAIRES	32	Boulonnais
9	TABLES CALCAIRES	35	Pays de Bray
9	TABLES CALCAIRES	36	Bassin Parisien -Ile de France
9	TABLES CALCAIRES	37	Cotentin est
9	TABLES CALCAIRES	38	Tables Calcaires -auréole crétacé
9	TABLES CALCAIRES	40	Champagne humide
9	TABLES CALCAIRES	41	Tables calcaires - sud Loire
9	TABLES CALCAIRES	54	Tables calcaires -nord Loire-Perche
9	TABLES CALCAIRES	57	Tables calcaires - Hte Normandie Picardie
9	TABLES CALCAIRES	97	Tables calcaires - Charente Poitou
10	COTES CALCAIRES EST	1	Plateau calcaire haute Saône
10	COTES CALCAIRES EST	25	Plateau lorrain
10	COTES CALCAIRES EST	26	Bassin de Forbach
10	COTES CALCAIRES EST	27	Plaine de Woëvre
10	COTES CALCAIRES EST	51	Bazois Auxois
10	COTES CALCAIRES EST	53	Bassin Parisien - Côtes calcaires
10	COTES CALCAIRES EST	75	Collines de Haute-Saône
10	COTES CALCAIRES EST	82	Côtes de Macon
10	COTES CALCAIRES EST	83	Beaujolais calcaire
10	COTES CALCAIRES EST	98	Collines sous-Vosgiennes
10	COTES CALCAIRES EST	99	Côtes de Bourgogne
11	CAUSSES AQUITAINS	64	Collines Calcaires de Dordogne (Cahors)
11	CAUSSES AQUITAINS	65	Causses du Quercy
12	ARMORICAIN	55	Massif Armoricaïn nord est
12	ARMORICAIN	58	Massif Armoricaïn sud intérieur
12	ARMORICAIN	59	Massif Armoricaïn ouest
12	ARMORICAIN	60	Massif Armoricaïn est intérieur
13	LANDES	18	Ile de Ré
13	LANDES	19	Ile d'Oléron
13	LANDES	20	Dunes de Royan
13	LANDES	21	Landes
14	COTEAUX AQUITAINS	66	Coteaux molassiques nord Aquitaine
14	COTEAUX AQUITAINS	68	Coteaux molassiques est Aquitaine
14	COTEAUX AQUITAINS	77	Coteaux molassiques bassin de l'Adour
14	COTEAUX AQUITAINS	78	Coteaux molassiques Centre Aquitaine
15	PLAINE SAONE	4	Forêt de Chaux
15	PLAINE SAONE	7	Dombes
15	PLAINE SAONE	81	Plaine de Bourgogne
15	PLAINE SAONE	84	Bresse
16	CORSE	22	Corse
16	CORSE	88	Corse plaine d'Aléria
17	DEPRESSIONS SEDIMENT.	45	Plaine du Forez
17	DEPRESSIONS SEDIMENT.	46	Limagne de l'Allier

CODE HER1	Nom HER_1	code HER2	nom her2
17	DEPRESSIONS SEDIMENT.	52	Fossés tectoniques
18	ALSACE	61	Collines d'Alsace
18	ALSACE	62	Alsace- plaine
18	ALSACE	73	Collines du Sundgau
19	GRANDES CAUSSES	113	Grandes Causses
20	DEPOTS ARGILO-SABLEUX	28	Sologne -Forêt d'Orléans
20	DEPOTS ARGILO-SABLEUX	31	Flandres intérieures
20	DEPOTS ARGILO-SABLEUX	33	Douai -Condé
20	DEPOTS ARGILO-SABLEUX	39	Thiérache
20	DEPOTS ARGILO-SABLEUX	42	Epanages éluviaux
21	MASSIF CENTRAL NORD	48	Montagne bourbonnaise
21	MASSIF CENTRAL NORD	87	Morvan – Charollais
21	MASSIF CENTRAL NORD	89	Hautes Terres Limousines
21	MASSIF CENTRAL NORD	92	Massif central - Plateau Limousin
22	ARDENNES	34	Ardenes



Description sommaire des hydro-écorégions de niveau 2

1. Pyrénées

23 Pyrénées étage montagnard cf 96

24 Pyrénées orientales

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Limites : **Relief** (étage alpin et subalpin), et **climat** (montagnard sous influence méditerranéenne) à l'est et au nord, collines méditerranéennes ,
à l'ouest, Pyrénées centrales,
au sud, frontière.

Ce secteur a été délimité sur la base d'un critère d'altitude (supérieure à 1 000 m hors vallées) et selon la délimitation de la végétation de la carte Dupias et Rey .

Les altitudes sont très élevées (jusqu'à 2 800 m).

Pentes fortes

Climat soumis aux influences méridionales (contraste saisonnier des précipitation, déficit hydrique estival), l'altitude corrigeant à la baisse le déficit hydrique (températures plus basses, et précipitations plus élevées)

67 Bordure pyrénéenne centrale

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Limites : **géologie , relief ;**
au sud, massif des Pyrénées,
au nord, coteaux molassiques est Aquitain,
au nord est, massif central.

Cette zone, allongée dans un axe est ouest, correspond aux premiers reliefs plissés de la couverture sédimentaire des Pyrénées.

Relief plissés d'axe est –ouest, d'altitude limitée (900 m max)

Pentes marquées,

Climat intermédiaire, les influences des reliefs des Pyrénées se faisant sentir .

69 Bordure pyrénéenne atlantique

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Limites : **relief** (altitude max et pentes) ;
au sud, frontière et massif des Pyrénées,
au nord et à l'est, basses collines du pays basque et du Béarn,
à l'ouest, golfe de Gascogne.

Régions de collines au relief assez accentué (flyschs sédimentaires dominant), dont la morphologie des vallées diffère des coteaux aquitains.

Relief de collines (900 m max),

Pentes assez marquées ,

Climat océanique.

94 Pyrénées occidentales, étages alpin et subalpin

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Limites: **relief** ,
au nord, étage montagnard (altitude inférieure à 1 800 m) ,
Au sud, ligne de crête et frontière,
A l'est, haute vallée de la Garonne.

Partie occidentale de la chaîne des Pyrénées, au relief élevé (3 000 m) et découpé.

Relief de haute montagne découpé,
Pentes très fortes ,
Climat montagnard froid et humide, étage nival.

95 Pyrénées centrale, étage alpin et subalpin

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Limites: **relief** ,
au nord, étage montagnard (altitude inférieur à 1 800 m) ,
Au sud, ligne de crête et frontière,
A l'est, Pyrénées orientale.

Partie centrale de la chaîne des Pyrénées, au relief élevé (3 000 m) et découpé

Relief de haute montagne découpé,
Pentes très fortes ,
Climat montagnard froid et humide, étage nival.

96 Pyrénées ,étage montagnard

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Limites: **relief** (entre 500 m et 1 800 m), climat
au nord, bordure pyrénéenne et plateau de Lannemezan ,
Au sud, Pyrénées étage alpin et Pyrénées orientales,
A l'est, région méditerranéenne.

Zone intermédiaire entre la haute montagne au régime nival, et les reliefs moins élevés au nord.
Géologiquement hétérogène, cette zone est marquée par un relief accentué et des fortes pentes.

Relief découpé,
Pentes très fortes ,
Climat montagnard humide.

2. Alpes internes

8 Massif du Mont Blanc

Définition des hydro-écorégions du Rhône (JG Wasson et C Rogers 1995)

Limites : **Géologie** (massif cristallin) et relief (bassin versant influencé),
à l'est et au nord, frontière,
à l'ouest, formations sédimentaires du massif du Chablais,
au sud, les torrents tributaires des glaciers du massif.

Ce secteur est caractérisé par son relief, la présence de grands glaciers représentant ¼ environ de la surface, et des roches cristallines très résistantes.

Les altitudes sont très élevées

Pentes très fortes,

Climat montagnard à tendance continentale.

9 Massifs schisteux de Tarentaise et de Maurienne

Définition des hydro-écorégions du Rhône (JG Wasson et C Rogers 1995)

Limites : **Géologie** ,
à l'est , massif de la Vanoise ,
au sud, massif de l'Oisans,
à l'ouest, massif de Belledune, Beaufortain,
au nord , frontière .

Ce secteur est constitué de montagnes aux reliefs moins marqués que les massifs qui l'entourent, et composé de roches hétérogènes (présence de gypses).

Les altitudes sont élevées (jusqu'à 3 500 m),

Pentes élevées,

Climat montagnard sans contraste marqué.

10 Massif de la Vanoise

Définition des hydro-écorégions du Rhône (JG Wasson et C Rogers 1995)

Limites : **Géologie** (roches métamorphiques résistantes),
à l'est , frontière,
au sud, frontière,
à l'ouest, massif de Maurienne Tarentaise,
au nord , frontière .

Ce secteur est constitué de montagnes aux reliefs accentués, d'altitudes élevées, ainsi que des glaciers répartis sur l'ensemble de cette zone.

Les altitudes sont très élevées (jusqu'à 3 800 m).

Pentes élevées

Climat montagnard à tendance continentale sans contraste marqué .

12 Massif de l'Oisans

Définition des hydro-écorégions du Rhône (JG Wasson et C Rogers 1995)

Limites : **Géologie** ,
à l'est et au sud est , alpes internes du sud aux roches métamorphiques hétérogènes et aux tendances climatiques plus méridionales ,
au sud, dépression du Gapençais Embrunais,
à l'ouest, dépression de la vallée du Drac,
au nord , massif schisteux de Maurienne .

Ce secteur est constitué de montagnes aux reliefs accentués et élevés, typique des massifs cristallins à roches dures. De grands glaciers sont présents dans la partie centrale du massif.

Les altitudes sont très élevées (jusqu'à 4 000 m),

Pentes élevées,

Climat montagnard à tendance continentale , les influences méridionales sont sensibles au sud.

101 Massif Beaufortin Belledone

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Définition des hydro-écorégions du Rhône (JG Wasson et C Rogers 1995)

Limites: **géologique, relief**

au nord-est, Massif du Mont Blanc ,

Au sud, massif de l'Oisans,

A l'ouest, massifs Chartreuse Aravis (séparé par Grésivaudan, Combe de Savoie),

A l'est, massif schisteux de Tarentaise et de Maurienne.

Haut massif à dominante granitique, constituant une liaison entre le Mont Blanc au nord et l'Oisan au sud, découpé par des vallées (Tarentaise, Maurienne) Pas de glaciers significatifs.

Relief de haute montagne (altitudes max 3 000 m),

Pentes très forte ,

Climat montagnard.

107 Alpes internes du sud

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Définition des hydro-écorégions du Rhône (JG Wasson et C Rogers 1995)

Limites : **relief, climat, géologie,**

au nord, Massif de la Vanoise, de Maurienne, de l'Oisans,

à l'est, frontière,

à l'ouest, dépression du Gapençais Embrunnais,

au sud ouest, préalpes de Digne.

Prolongement sud des Alpes internes, la limite étant marquée par une zone moins arrosée (le Queyras), avec un relief qui reste très accentué, des roches hétérogènes. Pas de glacier significatif.

Relief de hautes montagnes (jusqu'à 3 000 m),

Pentes très fortes ,

Climat montagnard à tendance sèche.

3. Massif Central sud

43 Massif Central Dépressions internes

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Hydro-écorégions du bassin de la Loire (JG WASSON 1996, 2001)

Limites : **géologie , relief et climat**

A l'ouest, plateaux volcaniques ,

au sud et à l'est, hautes terres granitiques,

au nord, plaine de la Limagne de l'Allier .

C'est une dépression, dont la couverture tertiaire est ponctuée de nombreux édifices volcaniques, induisant une hétérogénéité dans les formes de relief, et le drainage.

Relief irrégulier, et altitudes comprises entre 300 et 600 m

Pentes marquées inégalement réparties,

Climat sec par rapport aux secteurs avoisinants, avec un contraste saisonnier plus marqué des précipitations.

44 Massif Central Terres granitiques orientales

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Hydro-écorégions du bassin de la Loire (JG WASSON 1996, 2001)

Limites : géologie , relief

à l'ouest, au nord et à l'est, plaines des dépressions sédimentaires ,
au sud-est, hautes terres granitiques,
au sud ouest, dépression interne .

Il s'agit de la partie inférieure (altitude limitée à 800m) du massif granitique situé entre Loire et Allier.

Relief montagneux, et altitudes comprises entre 300 et 700 m,

Pentes assez fortes,

Climat montagnard assez humide.

47 Massif Central Dépression du Puy en Velay

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Hydro-écorégions du bassin de la Loire (JG WASSON 1996, 2001)

Limites : géologie , relief

A l'ouest, et à l'est plateaux volcaniques ,

au sud et au nord, plateaux granitiques.

C'est une dépression isolée et de petite taille, dont la couverture tertiaire est ponctuée de nombreux édifices volcaniques, induisant une hétérogénéité dans les formes de relief.

Relief irrégulier, et altitudes comprises entre 500 et 1000 m,

Pentes marquées inégalement réparties,

Climat un peu plus sec par rapport aux secteurs avoisinants.

49 Massif Central Hautes terres volcaniques orientales

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Hydro-écorégions du bassin de la Loire (JG WASSON 1996, 2001)

Limites : géologie

à l'ouest, et à l'est et au sud massif granitique ,

au nord, dépression du Puy en Velay.

C'est une zone regroupant le deuxième ensemble volcanique du Massif Central, au sud est de celui ci.

Relief assez élevé (altitudes comprises entre 800 et 1 600 m)

Pentes inégalement réparties, avec une dominante de plateaux,

Climat montagnard à tendance plus sèche.

50 Massif Central Hautes Terres granitiques orientales

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Hydro-écorégions du bassin de la Loire (JG WASSON 1996, 2001)

Limites : géologie , relief

Partie centrale la plus élevée du massif granitique oriental du massif central, dominé par les monts du Livradois et du Forez

C'est une unité de massif granitique ancien, assez élevé (sommets à 1 500 m – 1 600 m), globalement en forme de plateau, mais où les pentes fortes ne sont pas rares.

Climat montagnard.

72 Montagne Noire

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandèsris, H Pella 2002)

Limites : **géologie , relief**

au sud, à l'ouest et au nord, coteaux molassiques du bassin aquitain,
à l'est, Grandes Causses,

Extrémité sud ouest du Massif central, constituant une avancée dans le bassin aquitain se différenciant par les roches dures de son sous-sol, et un relief assez marqué

Relief de plateau assez élevé (800 – 1000m)

Pentes moyennes à fortes,

Climat océanique à tendance montagnard humide.

86 Bordure orientale du Massif Central Pilat Monts du Lyonnais

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandèsris, H Pella 2002)

Hydro-écorégions du bassin de la Loire (JG WASSON 1996, 2001)

Limites : **relief, géologie, climat**

au nord, Morvan (dépression du Charollais),

à l'ouest, hautes terres granitiques des Monts du Forez et dépression du Forez,

au sud, Cévennes ,

à l'est, vallée du Rhône et collines du bas Dauphiné, vallée de la Saône.

Petites montagnes au sous sol de type granitique, dont les pentes, sont parfois marquée,

Relief plus élevé au sud (Pilat 1 400 m),

Pentes assez fortes,

Climat océanique, plus sec dans sa partie sud est.

90 Hautes terres granitiques Margeride

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandèsris, H Pella 2002)

Hydro-écorégions du bassin de la Loire (JG WASSON 1996, 2001)

Limites : **relief, géologie, climat**

au nord, dépression interne ,

A l'ouest, hautes terres volcaniques occidentales,

Au sud, Grands Causses et Cévennes,

A l'est, hautes terres volcaniques orientales.

Cette zone centrale du massif est caractérisée par un relief en plateau élevé de roches granitiques située entre les deux principales zones volcaniques du Massif Central.

Relief de plateau (1000 – 1500m),

Pentes moyennes ,

Climat montagnard froid et humide.

91 Hautes terres volcaniques humides

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandèsris, H Pella 2002),

Hydro-écorégions du bassin de la Loire (JG WASSON 1996, 2001)

Limites: **géologie, relief, climat**

au nord, hautes terres du plateau limousin ,

à l'ouest, versant occidental du massif central,

au sud, Grands Causses,

au sud est, hautes terres granitiques,

au nord est, dépressions internes.

Ce grand ensemble volcanique comprend, du nord au sud, la chaîne des Puys, le massif du Plomb du Cantal, et les Monts d'Aubrac, la nature des roches volcaniques est assez variable, tant en perméabilité (cinérites perméables au nord, tables basaltiques au sud), qu'en résistance à l'érosion, et en nature chimique.

Relief de plateau, surmontés d'édifices volcaniques plus ou moins conséquents (1000 – 1800m),
Pentes parfois fortes au niveau des volcans,
Climat montagnard froid et humide.

93 Massif Central Versant occidental

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson, A Chandèsris, H Pella 2002)

Limites: **relief**, géologie,
au nord, hautes terres du plateau limousin,
A l'ouest, Causses du Quercy et Coteaux molassiques du bassin aquitain,
Au sud, Montagne Noire cévenole,
A l'est, hautes terres volcaniques humides, grands Causses.

Partie occidentale du massif central, en pente descendant vers l'ouest, incisée par des larges bassins permien qu'empruntent les cours d'eau les plus importants

Reliefs peu accentués, inférieur à 1 000 m,
Pentes plus fortes sur les versant des grands bassins primaires,
Climat océanique humide.

4. Vosges

63 Vosges granitiques

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson, A Chandèsris, H Pella 2002)

Limites : **géologie**, **relief**,
au sud, à l'ouest au nord-ouest Vosges gréseuses au relief moins accentué,
à l'est, plaine d'Alsace.

Cette partie centrale du massif des Vosges se différencie par la dureté de son sous sol de roches granitiques, lui donnant un relief accentué.

Relief de moyenne montagne granitique (1 400 m max) aux vallées découpées,
Pentes forte,
Climat montagnard humide.

74 Vosges gréseuses

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson, A Chandèsris, H Pella 2002)

Limites : **géologie**, **relief**
au sud, collines sous vosgiennes,
à l'est, Vosges cristallines,
au nord-est, collines d'Alsace,
à l'ouest, plateau lorrain

Cette zone constitue une auréole sédimentaire de grès autour des Vosges granitiques, qui se prolonge au nord vers la frontière.

Le relief y est moins accentué du fait de la nature du sous sol, plus sensible à l'érosion, l'ensemble se raccordant en pente assez douce à l'ouest et au sud avec les formations secondaires du bassin parisien et du val de Saône, les altitudes, plus élevées au sud n'excèdent pas 800 m.

Relief de collines et de moyennes montagnes,
Pentes marquées (au nord et en partie centrale),
Climat océanique (à tendance continentale), l'effet du relief est sensible sur les quantités précipitées.

5. Jura – Préalpes du nord

2 Jura premier plateau

Définition des hydro-écorégions du Rhône (JG Wasson et C Rogers 1995)

Limites : **Relief** (géomorphologie et altitude) et géologie

Cette région, constituée de reliefs en plateau, parfois traversés par quelques cours d'eau plus importants, est délimitée de la façon suivante :

au sud ouest, par les premiers reliefs se différenciant de la plaine de la Bresse,

au nord ouest, par la vallée du Doubs,

au nord par les collines du Sundgau, d'âge pliocène au relief plus mou,

à l'est, par la frontière suisse, puis le « Haut jura », plateau d'altitude supérieure à 800 m,

au sud, par le Jura sud aux reliefs plus marqués.

Ce secteur, situé à l'est de la plaine de Saône, est caractérisé par un relief de plateau peu élevé, un sous sol carbonaté, en général massif et perméable, traversé par des cours d'eau peu nombreux.

Altitudes marquées en moyenne de 350 à 800 m, sauf en limite ouest et dans les fonds des plus grandes vallées, Pentes réduites sauf sur versants des thalwegs,

Climat océanique assez humide sans saison marquée.

3 Jura septentrional

Définition des hydro-écorégions du Rhône (JG Wasson et C Rogers 1995)

Limites : **Relief** (altitude et géomorphologie) et géologie

à l'ouest, rupture de pente et / ou altitude supérieure à 800 m,

à l'est frontière suisse,

au sud, Jura sud caractérisé par un relief plus marqué par les fortes pentes.

Ce secteur, est constitué de plateaux d'altitudes moyenne supérieures à 800 m, sur lesquels s'écoulent quelques rares cours d'eau, le sous sol étant dans l'ensemble composé de calcaires massifs, parfois recouvert de formations argileuses.

Les altitudes sont assez élevées (800 – 1500 m),

Pentes réduites sauf sur versants des thalwegs,

Climat montagnard humide et froid sans contraste marqué.

5 Jura sud

Définition des hydro-écorégions du Rhône (JG Wasson et C Rogers 1995)

Limites : **Relief** (altitude et géomorphologie) et géologie

à l'ouest, premier plateau du jura au relief plus régulier et moins élevé,

à l'est frontière suisse,

au sud, vallée de Rhône et dépression péri alpine aux pentes moins fortes.

Ce secteur, est constitué de chainons plissés d'altitudes moyenne supérieures à 800 m, traversés par des profondes vallées (les cluses), le sous sol étant dans l'ensemble composé de calcaires massifs, alternant parfois avec des couches marno-calcaires.

Les altitudes sont assez contrastées (500– 1800 m).

Les pentes sont fortes, notamment au niveau des « cluses » et sur les versants des chainons

Climat montagnard humide et froid sans contraste marqué.

6 Massif Chablais Giffre

Définition des hydro-écorégions du Rhône (JG Wasson et C Rogers 1995)

Limites : **Relief** (altitude et géomorphologie) et géologie

à l'ouest et au nord, rupture de pente en limite de la dépression péri-alpine,

à l'est frontière, et vers le sud massif granitique du Mont Blanc,

au sud, vallée de l'Arve.

Ce secteur, est constitué de reliefs accidentés, dominés par des formations hétérogènes de type flyschs, sédimentaires, globalement imperméables, et localement sensibles à l'érosion.

Les altitudes sont élevées (jusqu'à 3 000 m),
Pentes très fortes,
Climat montagnard humide et froid à tendance continentale sans contraste marqué.

11 Vercors nord

Définition des hydro-écorégions du Rhône (JG Wasson et C Rogers 1995)

Limites : **Géologie** (présence de calcaires massifs), et relief
à l'est, dépression du Drac,
au sud, limite des plateaux calcaires, Diois,
à l'ouest, et au nord, vallée de l'Isère.

Ce secteur, bien délimité par les hautes falaises de calcaires urgonien, est constitué de plateaux élevés assez accidentés coupés par quelques vallées, le réseau hydrographique, peu dense est en majorité orienté selon un axe nord sud.

Les altitudes sont élevées (jusqu'à 2 300 m), les plateaux se tenant entre 1000 et 1 500 m.
Pentes sont très élevées en périphérie des plateaux
Climat montagnard humide sans contraste marqué.

76 . Piedmont Alpes Jura

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Définition des hydro-écorégions du Rhône (JG Wasson et C Rogers 1995)

Limites : **relief, géologie,**
au sud est, Préalpes du nord,
au nord-ouest, contreforts du Jura,
à l'ouest, collines du Bas dauphiné.

Ce secteur correspond à une dépression parsemée de reliefs entre le Jura et les Alpes, qui s'élargit en direction du nord est, à l'ouest, les contreforts du Jura de basse altitude y sont intégrés.

Relief de collines (200 – 800 m) Exceptionnellement 1000m sur certains chaînons calcaires,
Pentes moyennes, marquées localement,
Climat océanique (à tendance continentale) influencé par les montagnes voisines.

79 Massifs calcaires Chartreuses Beauges Aravis

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Définition des hydro-écorégions du Rhône (JG Wasson et C Rogers 1995)

Limites : **relief, géologie,**
au sud est, massif cristallin de Belledune, (séparé par la vallée du Grésivaudan),
au sud ouest, massif calcaire du Vercors nord, (séparé par la Cluse de Voreppe),
au nord ouest, collines du piedmont,
au nord est, massif du Chablais.

Massifs des Préalpes du nord, composé de couches sédimentaires secondaires très plissées, au relief accentué par la présence dans certaines strates de calcaires massifs (faciès Urganien et Tithonique), avec un régime hydrologique de type karstique.

A noter les vallées (ou dépressions, voire cluses) incisant profondément ces massifs dans l'axe sud est/nord ouest (cluse de Voreppe, lac du Bourget, lac d'Annecy, vallée de l'Arve).

Relief de moyennes montagnes (jusqu'à 2 500 m),
Pentes élevées,
Climat montagnard très humide .

80 Vallée du Drac Matheysine

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandèsris, H Pella 2002)

Définition des hydro-écorégions du Rhône (JG Wasson et C Rogers 1995)

Limites : **relief, géologie, climat**

à l'est, massif de l'Oisans,

à l'ouest, massif calcaire du Vercors nord,

au sud, massif du Devoluy,

au nord, vallée du Grésivaudan (Grenoble).

Cet ensemble assez hétérogène constitue une vaste dépression au relief mouvementé, mais moins élevé que celui des massifs avoisinants, avec un sous sol hétérogène constitué de roches marneuses, détritiques ou primaires.

Relief de petites montagnes (jusqu'à 1700 m), avec de larges vallées

Pentes élevées au niveau des reliefs,

Climat montagnard avec une tendance plus sèche que dans les massifs voisins.

85 Collines du Bas Dauphiné

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandèsris, H Pella 2002)

Définition des hydro-écorégions du Rhône (JG Wasson et C Rogers 1995)

Limites : **relief, géologie, climat**

au nord, vallée du Rhône et plateau de la Dombes,

à l'ouest, reliefs granitiques des Monts du Lyonnais Pilat,

au sud, plaine méditerranéenne,

au nord est, piedmont Alpes Jura,

au sud est, relief du Vercors.

Cette zone est assez hétérogène, mais marquée géologiquement par le voisinage des Alpes :

Sous sol composé de roches détritiques, de la molasse miocène aux alluvions post glaciaires en passant par les poudingues détritiques grossiers, ce qui induit des variations importantes pour les reliefs (soit accentués, soit très plats dans les anciennes vallées glaciaires), ainsi que pour la perméabilité et la chimie des eaux.

Relief accentué sur les collines (Chambaran et Terres Froides) jusqu'à 700 m, et peu marqué dans les grandes plaines (est Lyonnais, Bièvre, vallée de l'Isère),

Pentes quasi nulles à assez forte suivant les secteurs,

Climat océanique avec des tendances localement froides.

6. Région méditerranéenne

56 Collines de Basse Provence

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandèsris, H Pella 2002)

Définition des hydro-écorégions du Rhône (JG Wasson et C Rogers 1995)

Limites : **relief, géologie, climat**

au sud est, collines calcaire de Basse Provence,

au nord, plateaux calcaire,

à l'est, préalpes de Digne et de Castellane,

à l'ouest, plaine méditerranéenne.

Région de collines à la géologie hétérogène, dominée par des formations détritiques assez érodables.

Relief de colline , aux altitudes atteignant exceptionnellement 1 000 m

Pentes moyennes, parfois marquées sur certains reliefs,

Climat méditerranéen.

102 Plaine littorale Méditerranéenne

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Définition des hydro-écorégions du Rhône (JG Wasson et C Rogers 1995)

Limites: **géologique, relief**

au nord-ouest et nord est, plaine méditerranéenne.

Cette zone correspond au delta du Rhône et à la région des étangs palavasiens.

Peu de cours d'eau, zone saumâtre

Relief plaine littorale,

Pentes nulles ,

Climat méditerranéen.

104 Garrigues subcévenoles

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Définition des hydro-écorégions du Rhône (JG Wasson et C Rogers 1995)

Limites : **relief, géologique, climat**

au nord-ouest, Cévennes ,

à l'est et au sud, plaine Méditerranéenne .

Secteur nord-ouest de la région méditerranéenne, se différenciant de la plaine par un relief en collines, voire de petits plateaux où dominent les roches carbonatées, pouvant localement donner des systèmes de type karstique.

Relief de collines calcaires (jusqu'à 500 m),

Pentes faibles, variant localement ,

Climat méditerranéen.

105 Plaine méditerranéenne

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Définition des hydro-écorégions du Rhône (JG Wasson et C Rogers 1995)

Limites : **climat, relief,**

au sud, bordure orientale des Pyrénées,

à l'ouest, Corbières, Montagne Noire, garrigues subcévenoles,

au nord, collines du Bas Dauphiné,

à l'est, préalpes du sud et basses collines de Provence .

Cet ensemble, constituée des plaines de la vallée du Rhône, de l'Aude, du Languedoc et du Roussillon, est assez homogène, excepté quelques zones assez localisées de collines ou bas plateaux calcaires n'excédant pas 500 m (Corbières, Alpilles, et collines de la vallée du Rhône).

Relief de plaines, entrecoupé localement de collines calcaires (jusqu'à 500 m),

Pentes faibles, variant localement ,

Climat méditerranéen.

108 Massif des Maures et de l'Esterel

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Limites : **géologique, relief,**

à l'ouest et au nord, collines calcaires de Basse Provence.

Ce massif se distingue par sa nature géologique, (roches anciennes de type granitique), donnant un sous sol très imperméable (densité du réseau de drainage nettement supérieure aux régions voisines).

Relief de collines (jusqu'à 650m maximum),

Pentes des versants assez fortes ,

Climat méditerranéen.

112 Collines calcaires de Basse Provence

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandèsris, H Pella 2002)

Limites : **géologique, relief**,
à l'ouest et au nord, collines de Basse Provence,
au nord est, plateau calcaire de Provence,
au sud-est, massif des Maures.

Cette région est caractérisée par un relief de collines assez irrégulier, avec une dominante de roche mère carbonatée, donnant parfois des systèmes karstiques localisés (Ste Baume, Ste Victoire, Calanques), alternant avec des petites zones marneuses.

Relief de collines assez élevée (jusqu'à 1 000 m),
Pentes des versants parfois fortes ,
Climat méditerranéen.

114 Corbières

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandèsris, H Pella 2002)

Limites : **relief, climat**
Du nord est au sud est, plaine méditerranéenne,
au sud ouest, Pyrénées,
au nord ouest, coteaux aquitains.

Ce secteur constitue un relief assez marqué , prolongement au nord est des Pyrénées délimitant le bassin aquitain de la région méditerranéenne.

Relief de plateaux (de 500 à 1000 m),
Pentes assez marquées ,
Climat à tendance méditerranéenne, marqué par le relief.

116 Bordure orientale des Pyrénées

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandèsris, H Pella 2002)

Limites : **relief, climat**
au nord, plaine méditerranéenne,
à l'est, Pyrénées orientales,

Il s'agit du prolongement à l'est de la chaîne des Pyrénées jusqu'à la Méditerranée, dont le relief moins élevé, et donc l'ensemble des caractéristiques climatiques et morphologiques ne permettent pas de l'assimiler à la région « Pyrénées », ni à la plaine méditerranéenne.

Relief de moyennes montagnes (de 200 à 1500 m),
Pentes assez marquées ,
Climat à tendance méditerranéenne, marqué par le relief.

7. Préalpes du sud

13 Massifs du Dévoluy et Vercors sud

Définition des hydro-écorégions du Rhône (JG Wasson et C Rogers 1995)

Limites : **Relief** , (reliefs accentués et élevés),
à l'est , et au sud, dépression marneuse du Gapençais ,
au nord, dépression de la vallée du Drac
à l'ouest, préalpes des Baronnies, aux roches marneuses,
au nord-ouest , plateau du Vercors .

Ce secteur est constitué de montagnes aux reliefs plus accentués et moins orientés que le plateau du Vercors, malgré la présence de roches sédimentaires assez équivalentes (calcaires et marnes).

Les altitudes sont élevées (jusqu'à 2 600 m),
Pentes élevées,
Climat montagnard à tendance continentale sans contraste marqué, avec quelques influence méridionales.

14 Préalpes drômoises et baronnies

Définition des hydro-écorégions du Rhône (JG Wasson et C Rogers 1995)

Limites : **Relief** , (reliefs peu escarpés) et géologie ,
à l'est , dépression marneuse du Gapençais ,
au nord, reliefs du Vercors,
à l'ouest, couloir rhodanien,
au sud, reliefs du mont Ventoux (calcaires massifs).

Ce secteur est constitué de montagnes aux reliefs peu accentués du fait de la nature marno argileuse dominante des roches en place, assez sensibles à l'érosion .

Les altitudes sont assez élevées (jusqu'à 1 600 m),
Pentes soutenues ,
Climat montagnard , toutefois les influences méridionales commencent à être sensible (contraste saisonnier des précipitation, déficit hydrique estival).

15 Gapençais Embrunnais

Définition des hydro-écorégions du Rhône (JG Wasson et C Rogers 1995)

Limites : **Relief** , (reliefs peu escarpés) et géologie
à l'est , reliefs des alpes internes (Queyras),
au nord, reliefs de l'Oisans,
à l'ouest, préalpes drômoises,
au sud, reliefs des préalpes de Digne et Castellane.

Ce secteur est constitué d'une dépression au sous sol marneux, interne au massif alpin, ouverte vers le sud du massif par lequel s'écoule l'émissaire principal, la Durance .

Les altitudes sont peu élevées dans la grande plaine centrale (500 à 800 m),
Pentes parfois marquées sur les reliefs en périphérie,
Climat assez sec sous la double influence méridionale et montagnarde à déficit hydrique assez sensible.

16 Plateau calcaire de Provence Mont Ventoux

Définition des hydro-écorégions du Rhône (JG Wasson et C Rogers 1995)

Limites : **Relief** , et **géologie**
à l'est , vallée de la Durance ,
au nord, Préalpes drômoises et Baronnies,
à l'ouest, couloir rhodanien,
au sud arrière pays méditerranéen.

Ce secteur constitue une unité de calcaires massifs assez découpés, par rapport aux reliefs plus mous au nord et à l'est, et aux zones de plaines et de collines peu élevées à l'ouest et au sud .

Les altitudes sont assez élevées (jusqu'à 2 000 m), plateaux d'altitude dominante vers 800 – 1 000 m .
Pentes soutenues en périphérie du plateau,
Densité de drainage globalement faible,
Climat soumis aux influences méridionales (contraste saisonnier des précipitation, déficit hydrique estival),
l'altitude corrigeant à la baisse le déficit hydrique (températures plus basses, et précipitations plus élevées).

17 Plateaux calcaires de Provence

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Définition des hydro-écorégions du Rhône (JG Wasson et C Rogers 1995)

Limites : **géologie, relief**,

à l'est ,vallée du Var ,

au nord-ouest, collines de Basse Provence,

au nord, préalpes de Digne et Haute allée du Var,

au sud et à l'ouest, collines calcaire de Basse Provence.

Ce secteur est constitué de massifs calcaires où le régime hydrologique karstique prédomine.

Les altitudes sont moyennes (jusqu'à 1 600 m),

Pentes fortes, notamment à l'est ,

Climat montagnard , toutefois les influences méridionales commencent à être sensible (contraste saisonnier des précipitation, déficit hydrique estival).

106 Préalpes de Digne et de Castellane - Haute vallée du var

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Définition des hydro-écorégions du Rhône (JG Wasson et C Rogers 1995)

Limites : **relief, géologique, climat**,

au nord-ouest, dépression marneuse du Gapençais Embrunnais ,

au nord et à l' est, alpes internes du sud,

au sud, plateaux calcaires de Provence,

à l'ouest, collines détritiques de Provence, (plateau de Valensole).

Préalpes du sud, à la géologie très hétérogène situées à l'est de la vallée de la Durance,

Relief de montagnes assez élevés (en majorité >à 800 m, atteignant 2 000 m),

Pentes fortes ,

Climat montagnard avec une tendance méditerranéenne.

8. Cévennes

70 Haute Loire Cévenole

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Hydro-écorégions du bassin de la Loire (JG WASSON 1996, 2001)

Limites : **climat, relief**,

au sud-ouest, grands Causses,

au nord-ouest, massif central, hautes terres granitiques ou volcaniques du massif Central,

à l'est, Cévennes,

Il s'agit de l'extrémité orientale du Massif Central (hautes terres granitiques et volcaniques), mais dont les caractéristiques climatiques diffèrent : précipitations annuelles abondantes, saison d'automne dominante pour les précipitations, pluies violentes (exprimées par le maximum de précipitations sur 24 h à la fréquence décennale).

Relief de plateau élevé (supérieur à 1 000 m),

Pentes moyennes,

Climat cévenol.

71 Cévennes

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Limites **climat, relief**,

au sud-est, guarrigues de la région méditerranéenne,

au sud-ouest, Grands Causses,

à l'ouest, hautes terres du massif central et haute loire cévenole,
au nord, monts du Pilat

Bordure orientale sud du massif central caractérisée par ses fortes pentes, et son climat spécifique : précipitations annuelles abondantes, saison d'automne dominante pour les précipitations, pluies violentes (exprimées par le maximum de précipitations sur 24 h à la fréquence décennale).

Relief accentué en pente générale vers le sud est
Pentes forte,
Climat cévenol.

103 Montagne Noire Climat cévenol

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Limites: **climatique, géologique,**
au nord-ouest, Massif Central versant occidental ,
au nord-est, Grands Causses climat cévenol,
au sud, plaine méditerranéenne.

Extrémité sud du Massif Central, caractérisée par un régime de précipitation du type cévenol : : précipitations annuelles abondantes, saison d'automne dominante pour les précipitations, pluies violentes (exprimées par le maximum de précipitations sur 24 h à la fréquence décennale).

Relief de moyennes montagnes (jusqu'à 1 200 m),
Pentes parfois assez forte,
Climat cévenol.

115 Causses cévenoles

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Limites : **géologie, climat, relief**
au sud est, plaine méditerranéenne, et garrigue sub cévenole,
au sud ouest, Montagne Noire,
au nord ouest, Grands Causses,
au nord est, Cévennes.

Géologiquement ce secteur constitue une partie des Grands Causses, mais les caractéristiques climatiques, typiquement cévenoles (écart saisonnier des précipitations, maximum décennal des pluies de 24 H), font préférer un classement à l'hydroécorégion « Cévennes ».

Relief de plateaux (de 500 à 1000 m),
Pentes assez marquées au niveau des vallées ,
Climat cévenol.

9. Tables calcaires

30 Pays de Caen

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Limites : **géologie**
au nord, Manche
à l'est et à l'ouest, Tables calcaires du Bassin parisien et Cotentin
au sud , formations primaires du massif armoricain.

Cette zone se différencie par la perméabilité de son sous sol, attestée par la densité de drainage, les formations de calcaires du jurassique (Bathonien, Bajocien) étant affleurantes dans ce secteur côtier , par ailleurs très plat.

Relief de plaine peu élevé, pentes nulles,

Climat océanique côtier .

32 Boulonnais

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandèsris, H Pella 2002)

Limites : **géologie** (formations jurassiques) et relief

à l'ouest, Manche

au nord , au sud, à l'est auréole crétacé du Bassin Parisien .

Dépression côtière dans le plateau picard, où affleurent des formations marneuses du Jurassique.

Relief peu élevé, pentes faibles

Climat océanique côtier

35 Pays de Bray

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandèsris, H Pella 2002)

Limites : **géologie**,

enclave jurassique dans l'auréole crétacé du Bassin Parisien.

Cette zone se différencie par la perméabilité de son sous sol, attestée par la densité de drainage, les formations marneuses du jurassique constituant un contraste au milieu de la craie, la différence de densité de drainage justifie une telle différenciation.

Relief de collines peu élevées (250 m maximum), pentes assez faibles,

Climat océanique .

36 Ile de France

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandèsris, H Pella 2002)

Limites : **géologie**,

grosse unité de formations tertiaires hétérogènes enclavée dans l'auréole crétacée du Bassin Parisien.

Cette zone reste très hétérogène autant en perméabilité, qu'en nature de sous sol, et correspond à la zone centrale sur le plan géologique du Bassin parisien (sables, dépôts argilo-sableux, calcaires, marnes, gypses, alluvions quaternaires....).

Relief de plaines, plateaux et collines peu élevés, pentes faibles sauf au niveau des versants des grandes vallées (Marne et Oise),

Climat océanique.

37 Cotentin est

Délimitation

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandèsris, H Pella 2002)

Limites : **géologie**,

au nord, et à l'est, Manche,

à l'ouest et au sud , formation primaire du massif armoricain,

au sud est , pays de Caen,(plaine calcaire).

Cette zone se différencie par rapport au massif armoricain et par rapport au secteur plus calcaire et perméable de la région de Caen, avec des terrains assez imperméables (densité de réseau).

Relief de plaine côtières,

Pentes quasi nulles,

Climat océanique côtier .

38 Tables Calcaires Auréole crétacé du Bassin Parisien

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Limites : géologie (craies et calcaires) et relief,

à l'ouest, les tables calcaires de Picardie et de Haute Normandie,

au sud , les épandages tertiaires argilo sableux de la région Sologne (forêt d'Orléans),

à l'est , formations marneuses du crétacé inférieur, constituant la Champagne humide,

au nord frontière ou épandages tertiaires des Flandres .

Ce secteur se différencie de ses voisins par une assez faible densité de drainage, et par un relief tabulaire marqué par quelques côtes,

Relief peu élevé (inférieur à 300 m),

Pentes marquées au niveau des versant de vallées,

Climat océanique .

40 Champagne humide

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Limites : géologie (formations marneuses du Crétacé inférieur),

à l'ouest, auréole crétacé du bassin parisien, (champagne sèche),

au sud , les tables calcaires du bassin de la Loire,

à l'est et au sud est , Côtes calcaires perméables aux reliefs plus accentués,

au sud ouest, Sologne .

Ce secteur se différencie de ses voisins par une densité de drainage plus accusée et un relief de plaine (c'est dans cette région qu'ont été réalisés les grands barrages réservoirs régulateurs du bassin de la Seine).

Relief peu élevé (inférieur à 300 m, sauf au sud ouest)

Pentes quasi nulles,

Climat océanique

41 Tables Calcaires sud Loire

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Hydro-écorégions du bassin de la Loire (JG WASSON 1996, 2001)

Limites : géologie et relief

A l'ouest, massif armoricain et tables calcaires du Poitou,

au sud , massif central et épandages tertiaires argilo-sableux périphériques de celui ci,

à l'est ,côtes calcaires,

au nord vallée de la Loire, du Cher et Champagne humide.

Cette zone, constituée de formations secondaires du Jurassique et du Crétacée, parfois recouvertes de formations argileuse, est très plane contrastant avec le Massif Central au sud.

Relief peu élevé (inférieur à 300 m),

Pentes faibles,

Climat océanique .

54 Tables calcaires nord Loire et Perche

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Hydro-écorégions du bassin de la Loire (JG WASSON 1996, 2001)

Limites : géologie,

à l'ouest, Massif Armoricain ,

au sud, vallée de la Loire,

à l'est, auréole crétacé du bassin parisien.

Cet ensemble constitué de formations sédimentaires du jurassique et du crétacé, se distingue par une densité de drainage supérieure à l'auréole crétacé du bassin parisien, liée à l'imperméabilité des placages superficiels..

Relief de plaine, avec, en partie centrale, une zone de collines (le Perche) dont les altitudes n'excèdent pas 300m,
Pentes faibles,
Climat océanique.

57 Tables calcaires – Hte Normandie Picardie

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandresis, H Pella 2002)

Limites : **géologie, climat**

au nord, Flandres et Boulonnais,
au nord et à l'est, bassin versant de l'Escaut et de l'Oise,
à l'est, formations tertiaire de l'Ile de France,
au sud, tables calcaire nord Loire caractérisées par un recouvrement d'argile à silex.

Cette partie de l'auréole crétacé du bassin parisien est caractérisée par sa proximité du littoral de la Manche d'une part (induisant un climat à tendance fraîche) et par le drainage de la nappe de la craie dans les vallées incisées où l'essentiel du réseau hydrographique est représenté (eau froide et carbonatée et régime hydrologique soutenu).

Relief de bas plateaux incisés avec des « cuestas »,
Pentes localement fortes au niveau des vallées,
Climat océanique aux températures maximales de juillet assez faible(22 à 23 ° C).

97 Tables calcaires - Charente Poitou

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandresis, H Pella 2002)

Définition des hydro-écorégions du Rhône (JG Wasson et C Rogers 1995)

Limites: **géologique** ,

au nord-ouest, Massif Armoricaïn,
au nord-est, tables calcaire sud Loire,
au sud, coteaux aquitains et collines calcaires du Périgord,
à l'est, dépôts argilo-sableux et Massif Central.

Cette zone de plaine est dominée par un sous sol calcaire, et la faible densité du réseau de drainage témoigne d'une grande perméabilité de celui ci.

Relief de plaine avec un maximum de 200 m d'altitude au seuil du Poitou, limite de bassin versant ,
Pentes quasi nulles ,
Climat océanique, à précipitations annuelles moyennes.

10. Cotes calcaires est

1 Plateau calcaire de Haute Saône

Définition des hydro-écorégions du Rhône (JG Wasson et C Rogers 1995)

Limites : **Géologie** confirmée par densité du réseau hydrographique,
au sud , vallée de la Saône.

Ce secteur, situé au sud des collines sous vosgiennes, est caractérisé par le sous sol calcaire, massif et perméable, traversé par quelques rares cours d'eau affluents de la Saône.

Altitudes limitées (200 – 500),
Pentes réduites sauf sur versants des thalwegs,
Climat océanique sans contraste marqué.

25 Plateau Lorrain

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Limites : **géologie** (formations marneuse et carbonatées du trias et du jurassique inférieur) et **relief**,
à l'est, Vosges gréseuses,
au nord, frontière,
à l'ouest, côtes calcaires de Moselle,
au sud collines gréseuses des Vosges, et limite de bassin versant .

C'est une zone de plaines entrecoupées de quelques collines aux altitudes limitées, le substrat à dominante marneuse induit une forte densité du réseau hydrographique et la présence de plans d'eau .

A noter que certains secteurs sont concernés par la présence de gypse et de sel (région de Château Salins).

Les altitudes sont assez faibles (inférieures à 500 m),
Pentes faibles,
Climat océanique .

26 Bassin de Forbach

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Limites : **géologie** (trias inférieur),
au nord, frontière,
à l'ouest, à l'est et au sud plateau lorrain.

C'est une zone au relief peu marqué délimité par des collines, correspondant aux formations gréseuses périphérique du Massif Schisteux Rhénan.

Secteur très concerné par l'exploitation de la houille.

Les altitudes sont assez faibles (inférieures à 300 m),
Pentes faibles,
Climat océanique .

27 Plaine de Woëvre

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Limites : **géologie** (formations marneuse) et **relief**,
enclavée dans les côtes calcaires du Bassin parisien (cf 53).

C'est une zone très plane, dont la densité du réseau contraste avec les régions avoisinantes, le sous-sol correspondant à un étage géologique composé de marnes.

Les altitudes sont faibles (inférieures à 250 m),
Pentes quasi nulles,
Climat océanique .

51 Collines marneuses du Bazois et de l'Auxois

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Limites : **géologie** , **relief**,
à l'ouest et au nord, Cotes calcaires est,
à l'est, Côtes de Bourgogne,
au nord, Côtes calcaires et Tables calcaires du bassin parisien,
au sud, collines du Morvan et dépressions sédimentaires du massif central.

Il s'agit d'une zone de « contact » entre le massif ancien du Morvan et les plateaux calcaires de l'est du Bassin Parisien, où affleurent les formations marneuses du Trias donnant un relief peu marqué et des terrains imperméables, tout à fait comparables aux secteurs en périphérie ouest et sud du massif Vosgien.

Relief de basses collines, voire de vallées marneuses dominées par des affleurements épars de calcaires plus massifs à l'est et des altitudes comprises entre 200 et 500 m.

Pentes faibles en moyenne,
Climat plus sec que le massif du Morvan.

53 Côtes calcaires du bassin parisien

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Limites : **géologie , relief**

à l'ouest, formations marneuses de la Champagne humide ,
au nord, frontière et massif schisteux rhénan,
à l'est, plateau lorrain délimité par les côtes de Moselle (limite du jurassique moyen/inférieur),
au sud de l'est à l'ouest, limite de bassin versant de la Saône, massif du Morvan, fossés tectoniques et tables calcaire.

C'est une ensemble sédimentaire constitué par des couches de calcaires perméables constituant une succession de plateaux en pente douce se terminant à l'est par des côtes. Le réseau hydrographique, peu dense, traverse ces formations perméables, par des vallées incisant ces plateaux ou suivant le pied des côtes selon un axe sud nord. A noter la présence d'une unité marneuse, enclavée dans cette zone, dont la densité du réseau tranche avec celle de cet ensemble (plaine de Woëvre).

Relief assez tabulaire, et altitudes de 200 m à l'ouest, vont atteindre 400 m à l'est, voire 600 m au sud est (plateau de Langres),

Pentes marquées au niveau des « côtes » et sur les versants des vallées,

Climat un peu plus humide par rapport à l'ouest du bassin parisien.

75 Collines de Haute Saône

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Définition des hydro-écorégions du Rhône (JG Wasson et C Rogers 1995)

Limites : **géologie , relief,**

au sud est, premier plateau du Jura, (vallée du Doubs),
au nord, collines sous vosgiennes, et Vosges gréseuses,
au nord-est, collines du Sundgau,
à l'ouest, plaine de Bourgogne.

Région de collines de calcaires massifs assez découpés, avec un réseau hydrographique peu dense.

Relief de collines (200 – 600 m),

Pentes des versants marquées,

Climat océanique (à tendance continentale), assez proche du Jura voisin.

82 Côtes de Macon

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Définition des hydro-écorégions du Rhône (JG Wasson et C Rogers 1995)

Limites : **relief, géologie,**

au nord et à l'est, plaine de la Bresse et de Bourgogne,
à l'ouest, collines granitiques de l'extrémité nord des monts du Lyonnais.

Cet ensemble constitue un prolongement au sud des côtes de Bourgogne, marquée par un relief typique de « cuestas » (roche de Solutré) où le sous sol en roches carbonatées domine.

Relief de collines calcaires n'excédant pas 500 m,

Pentes des versants moyennes à fortes,

Climat océanique..

83 Beaujolais calcaire

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Définition des hydro-écorégions du Rhône (JG Wasson et C Rogers 1995)

Limites : **relief, géologie,**

à l'est, vallée de la Saône ,
à l'ouest, collines granitiques de l'extrémité nord des monts du Lyonnais,
au nord, plaine de la Bresse.

Idem Côtes de Macon, mais unité géographique très petite.

Relief de collines calcaires n'excédant pas 500 m,
Pentes des versants moyennes à fortes,
Climat océanique.

98 Collines Sous-Vosgiennes

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandèsris, H Pella 2002)

Limites: **géologique, relief**
au nord-ouest, plateau lorrain, (limite de bassin versant),
au nord-est et à l'est, Vosges Gréseuses,
au sud, plateau calcaire et collines de Haute Saône,

Cette zone intermédiaire entre Côtes calcaires et Vosges gréseuses est un prolongement au sud, dans le bassin versant de la Saône, du « Plateau Lorrain », avec les caractéristiques équivalentes : dominantes de roches carbonatées imperméables, reliefs peu marqués.

Relief de plaine et de collines peu élevées (altitudes inférieures à 500 m),
Pentes faible à moyennes très localement ,
Climat océanique.

99 Côtes de Bourgogne

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandèsris, H Pella 2002)

Définition des hydro-écorégions du Rhône (JG Wasson et C Rogers 1995)

Limites: **géologique, relief**,
au nord-ouest, Côtes calcaires du Bassin Parisien (bassin de la Seine) ,
au nord, collines sous vosgiennes,
au sud, monts du Lyonnais,
à l'ouest, collines marneuses de l'Auxois, et Morvan,
à l'est, du nord au sud, plateau calcaire de Haute Saône, et plaine de Bourgogne.

Prolongement sud-est des côtes calcaires est, dans le bassin versant de la Saône.

Relief de Côtes assez élevées (jusqu'à 600m),
Pentes parfois assez forte, aux versants exposés à l'est,
Climat océanique.

11. Causses aquitains

64 Collines calcaires de Dordogne

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandèsris, H Pella 2002)

Limites : **géologie , relief**,
au sud-ouest et à l'ouest , coteaux aquitains (molasses et placages argilo sableux) ,
à l'est , causses du Quercy,
au nord-ouest, tables calcaires des Charentes,
au nord est, massif central.

C'est une zone intermédiaire, caractérisée par la dominante des faciès calcaire du sous sol, en alternance avec des marnes, au relief de collines.

Relief de collines (350 m max),
Pentes marquées,
Climat océanique.

65 Causses du Quercy

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Limites : **géologie , relief,**

à l'ouest , collines calcaires de Dordogne,

à l'est , et au nord, massif central (roches dures et imperméables),

au sud, coteaux aquitains (molasses, épandages argilo sableux).

Ce secteur a typiquement les caractéristiques de causses, plateau calcaire incisé par des profondes vallées, réseau hydrographique très peu développé, .

Relief de plateau peu élevé (500 m max),

Pentes marquées au niveau des vallées (traversée des cours d'eau descendant du massif central),

Climat océanique nettement moins humide que celui du massif central à l'est.

12. Armoricaïn

55 Massif Armoricaïn nord est

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Hydro-écorégions du bassin de la Loire (JG WASSON 1996, 2001)

Limites : **géologie , relief, climat,**

à l'ouest et au sud , massif armoricaïn est intérieur ,

à l'est , formations sédimentaires du bassin Parisien.

Cette zone de massif ancien granitique se différencie du massif « est intérieur », par son relief plus marqué, avec des pentes moyennes et des collines atteignant 400 m, et des précipitations annuelles plus élevées.

Relief de collines,

Pentes moyennes,

Climat océanique.

58 Massif Armoricaïn sud intérieur

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Hydro-écorégions du bassin de la Loire (JG WASSON 1996, 2001)

Limites : **géologie , relief, climat,**

au sud , tables calcaires des Charentes ,

à l'est , formations sédimentaires du bassin Parisien, seuil du Poitou,

au nord , massif armoricaïn est intérieur.

Cette zone de massif ancien granitique se différencie du reste du massif armoricaïn par l'influence climatique (températures), venant du sud.

Relief de plaines et de basses collines (250 m max),

Pentes faibles,

Climat océanique.

59 Massif Armoricaïn ouest

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Hydro-écorégions du bassin de la Loire (JG WASSON 1996, 2001)

Limites : **relief, climat**

à l'est , massif armoricaïn est intérieur.

Cette zone de massif ancien granitique se différencie du massif « est intérieur », par son relief plus marqué, avec des pentes moyennes et des collines atteignant 350 m, et des précipitations annuelles plus élevées.

Relief de collines,

Pentes moyennes,
Climat océanique.

60 Massif Armoricaïn est Intérieur

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)
Hydro-écorégions du bassin de la Loire (JG WASSON 1996, 2001)
Limites : **relief, climat, géologie.**

Unité située au milieu du massif, caractérisée par un relief de plaine peu élevée dont les altitudes ne dépassent pas 150 m, légèrement protégée des précipitations venant de l'ouest par les faibles relief situés à l'ouest.

Relief plaine,
Pentes faible à nulle,
Climat océanique moins humide que dans les zones voisines (déficit hydrique estival).

13. Landes

21 Landes

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)
Limites : **Géologie et relief** ,
au nord, vallée de la Garonne et coteaux,
à l'ouest, golfe de Gascogne,
au sud-ouest , vallée de l'Adour.

Ce secteur , situé sur le littoral atlantique, est caractérisé par ses pentes quasi nulles, son substrat argilo sableux, une densité du réseau hydrographique importante .

Les altitudes sont très faibles,
Pentes nulles,
Climat océanique.

14. Coteaux aquitains

66 Coteaux molassiques nord Aquitaine

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)
Limites : **géologie , relief** ,
à l'ouest , plaine sablo-argileuse des Landes ,
à l'est , collines calcaires de Dordogne,
au nord, tables calcaires des Charentes,
au sud vallée de la Garonne, du Tarn et de l'Aveyron.

Ce secteur de collines molassiques d'altitude peu élevée est traversé par des larges vallées alluviales.

Relief de collines peu élevée (300 m max),
Pentes peu marquée,
Climat océanique.

68 Coteaux molassiques est Aquitaine

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)
Limites : **géologie , relief, climat** ,
au sud, massif des Pyrénées, (bordure nord)
à l'est, massif central, montagne noire, bassin de l'Aude, Corbières,
au nord, Causses du Quercy, et vallées de l'Aveyron et du Tarn,
à l'ouest vallée de la Garonne.

Secteur de collines molassiques d'altitude peu élevée, traversé par des larges vallées alluviales, très comparable avec les Coteaux nord Aquitaine.

A noter que la limite orientale dans le bassin de l'Aude est calée sur la limite climatique des précipitations à caractère méditerranéen (écart saisonnier important, sécheresse estivale).

Relief de collines parfois élevées en périphérie (700m max),
Pentes peu marquée,
Climat océanique.

77 . Coteaux molassiques et collines du Bassin de l'Adour

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandresis, H Pella 2002)

Limites : **relief, géologie, et climat**,
au sud, bordure pyrénéenne (relief),
à l'est, coteaux aquitains , plateau de Lannemezan (limite bassin de l'Adour),
au nord, Landes (relief et géologie).

C'est une région de collines dont la partie principale (à l'est) a une morphologie très structurée en vallées et thalweg orientés dans un axe sud nord, et des basses collines à l'ouest à la morphologie plus hétérogène.

Relief de collines (200 – 500m),
Pentes moyennes,
Climat océanique, assez arrosé.

78 Coteaux molassiques Centre Aquitaine

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandresis, H Pella 2002)

Limites : **relief, géologie, climat**,
au sud, bordure pyrénéenne, (relief),
à l'est coteaux molassiques de l'est Aquitain, (vallée de la Garonne),
au nord ouest, plaine des Landes.

Région centrale des collines molassiques du sud aquitain, avec les vallées et thalweg orientés dans un axe sud nord en éventail, provenant du plateau de Lannemezan (600-650 m).

Relief de collines (50 – 600 m) coupées par des vallées bien marquées,
Pentes moyennes,
Climat océanique .

15. Plaine de Saône

4 Forêt de Chaux

Définition des hydro-écorégions du Rhône (JG Wasson et C Rogers 1995)

Limites : **géologie**
au nord ouest, vallée du Doubs,
à l'est , relief du Jura,
au sud et à l'ouest, plaine de la Saône

Ce secteur, est constitué d'une unité de formations marno-argileuses du pliocène, au relief peu marqué, mais imperméables.

Les altitudes sont faibles (200 – 300 m),
Pentes quasi nulles,
Climat océanique sans saison marquée.

7 Dombes

Définition des hydro-écorégions du Rhône (JG Wasson et C Rogers 1995)

Limites : **Géologie** , (formations glaciaires),

à l'est reliefs du jura et vallée de l'Ain ,
 au sud, vallées de l'Ain, puis du Rhône,
 à l'ouest, vallée de la Saône,
 au nord , plaine de la Bresse .

Ce secteur, est constitué par un plateau légèrement surélevé (250 – 300 m), par rapport aux vallées qui l'encadrent, les formations argileuses qui le constituent donnent un sous sol très imperméable permettant la présence de très nombreux plans d'eau.

Les altitudes sont faibles (250 – 300 m),
 Pentes quasi nulles, sauf en périphérie de la zone,
 Climat à tendance continentale sans contraste marqué.

81 Plaine de Bourgogne

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Définition des hydro-écorégions du Rhône (JG Wasson et C Rogers 1995)

Limites : **relief, géologie,**

Au nord-est, collines calcaire de Haute Saône,

au nord, plateau calcaire de Haute Saône,

A l' ouest, côtes de Bourgogne et Côtes Dijonnaises,

au sud, côtes de Macon,

au sud est, plaine de la Bresse.

Cette grande plaine au sous sol assez imperméable est bordée de côtes et collines calcaires,

Relief de plaine d'altitude faible (150 à 300 m),
 Pentes quasi nulle,
 Climat océanique.

84 Plaine de la Bresse

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Définition des hydro-écorégions du Rhône (JG Wasson et C Rogers 1995)

Limites : **relief, géologie,**

au nord et à l'est, premier plateau du Jura ,

A l' ouest, plaine de Bourgogne puis côtes calcaires (au sud),

Au sud, « plateau » de la Dombes.

Grande plaine au sous sol imperméable.

Relief de plaine d'altitude faible (150 à 250 m),
 Pentes quasi nulle,
 Climat océanique.

16. Corse

22 Corse

Ensemble de l'île à l'exception de la plaine orientale nettement différenciée par son relief.

Massif montagneux, , constitué en majorité de roches dures et imperméable de type granitique ou métamorphique.

Les altitudes sont assez élevées (Monte Cinto 2 707 m),
 Pentes globalement fortes,
 Climat insulaire de type méditerranéen...

88 Corse Plaine d'Aleria Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Limite Relief, géologie,
l'ouest, montagne Corse,
à l'est, mer méditerranée.

Cette zone de plaine, contraste avec le reste de l'île par la pente et la nature géologique du sous sol.

17. Dépressions sédimentaires

45 Plaine du Forez

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)
Hydro-écorégions du bassin de la Loire (JG WASSON 1996, 2001)

Limites : géologie , relief et climat

C'est une dépression, recouverte d'alluvions d'âge tertiaire, enclavé dans le massif granitique de l'est du massif central.

Relief très plat et peu élevé (350 m),

Pentes nulles,

Climat sec par rapport aux secteurs avoisinants, avec un contraste saisonnier marqué des précipitations et une tendance continentale (pluies estivales).

46. Limagnes de l'Allier

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)
Hydro-écorégions du bassin de la Loire (JG WASSON 1996, 2001)

Limites : géologie , relief et climat,

à l'ouest, et à l'est massif granitique (volcans au sud ouest) ,

au sud, dépression sédimentaire affectée par le volcanisme,

au nord, plaines des fossés tectoniques .

C'est une dépression, dont la couverture tertiaire et quaternaire est extrêmement plane.

Relief de plaine, peu élevé (250 – 400 m),

Pentes faibles,

Climat sec par rapport aux secteurs avoisinants, avec un contraste saisonnier marqué des précipitations et tendance continentale (précipitations estivales) .

52 Fossés tectoniques

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)
Hydro-écorégions du bassin de la Loire (JG WASSON 1996, 2001)

Limites : géologie , relief et climat,

à l'ouest, et à l'est et au sud , plateaux granitiques ,

au sud ouest plaine de la Limagne,

au nord, Côtes calcaires et Tables calcaires du bassin parisien.

Ce secteur constitue une vaste dépression, couverte de sédiments d'âge tertiaire (Pliocène) constituant un débouché au nord du Massif Central par lesquels s'écoulent et se rejoignent la Loire et l'Allier.

Relief de plaine, et altitudes comprises entre 250 et 400 m,

Pentes faibles,

Climat un peu plus sec par rapport aux secteurs avoisinants.

18. Alsace

61 Alsace collines

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Limites : **géologie , relief, climat,**

au sud , Vosges cristallines ,

à l'est , plaine d'Alsace,

au nord-ouest et à l'ouest, reliefs des Vosges gréseuses.

Cette entité, située au nord ouest de la plaine d'Alsace, constitue une zone intermédiaire avant la limite plus nette des Vosges gréseuses, au relief et au sous sol caractéristiques. Les formations secondaires marno-calcaires forment un relief de basses collines.

Relief de plaines et de basses collines (250 m max),

Pentes faibles,

Climat à tendance continentale.

62 Alsace plaine

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Limites : **géologie , relief, climat,**

au sud , collines du Sundgau ,

à l'est , Rhin,

à l'ouest, reliefs des Vosges cristallines et collines du nord ouest.

Cette plaine est bien délimitée par son relief, en concordance avec la géologie (alluvions du quaternaire et du pliocène).

Relief de plaine en pente très douce vers le nord,

Pentes nulles,

Climat à tendance continentale.

73 Collines du Sundgau

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Limites : **géologie , relief,**

au sud, premier plateau du Jura,

au nord, plaine d'Alsace,

à l'ouest, Vosges, collines de Haute Saône.

Région de basses collines située au sud de la plaine d'Alsace, correspondant au premiers reliefs en contrefort du Jura. Ce secteur est dominé par des formations imperméables.

Relief de basses collines (500 m max),

Pentes peu marquées,

Climat à tendance continentale.

19. Grands Causses

113 Grands Causses

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Limites : **géologique, relief, climat,**

à l'ouest, versant occidental du Massif Central,

au nord, Hautes terres volcaniques humides, et hautes terres granitiques,

à l'est, Cévennes,

au sud, Causses cévenoles.

Ce secteur se distingue par sa nature géologique, lui donnant son relief caractéristique de grand plateau calcaire, entaillé par des vallées profondes, au réseau hydrographique superficiel très réduit.

Relief de plateaux (de 500 à 1000 m),
Pentes globalement assez faibles sauf au niveau des vallées ,
Climat montagnard avec une tendance sèche.

20. Dépôts argilo-sableux

28 Sologne Forêt d'Orléans

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)
Hydro-écorégions du bassin de la Loire (JG WASSON 1996, 2001)

Limites : **géologie** (formations argilo sableuse) et **relief**,
au sud et à l'est, formations crétacé de la Champagne humide ,
au nord et nord ouest, plaine calcaire de Beauce ,
au sud ouest vallées du Cher et de la Loire .

C'est une zone de plaine constitués de formations argilo-sableuses, imperméables.

Les altitudes sont faibles (inférieures à 150 m),
Pentes nulles,
Climat océanique.

31 Flandres intérieures

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Limites : **géologie** (formations argilo sableuses du tertiaire) et **relief**,
au nord ouest, plaine côtière,
au sud ouest et sud est, plateaux de Picardie,
au nord est, frontière .

Ce secteur se différencie de ses voisins par la densité du réseau de drainage (supérieur à celui des zones de craie), et par le relief (plaine côtière).

Relief de plaine avec de petites collines,
Climat océanique.

33 Douai Conté

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Limites : **géologie** (formations argilo sableuses du tertiaire),
au nord ouest, au sud ouest et sud est, tables crayeuses,
au nord, frontière .

Ce secteur se différencie de ses voisins par la densité du réseau de drainage (supérieur aux zones de craie), il est à rapprocher des « Flandres Intérieures » (31)

Relief de plaine,
Climat océanique .

39 Thiérache

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Limites : **géologie** ,
A l'ouest et au sud , auréole crétacé du bassin parisien,
à l'est , bordure ouest du massif schisteux rhénan,
au nord frontière.

Ce secteur se différencie par une forte densité de drainage par rapport à l'ouest et au sud, et par la nature sédimentaire de son sous sol, par rapport aux terrains primaires du massif schisteux rhénan.

Relief peu élevé (entre 100 et 200 m),
Pentes nulles,
Climat océanique.

42 Epandages éluviaux

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Hydro-écorégions du bassin de la Loire (JG WASSON 1996, 2001)

Limites : **géologie et relief**,

Zones « tampons » enclavées entre le massif central et les formations secondaires au niveau du seuil du Poitou .

Ces unités correspondent à des zones relativement importantes de dépôts argilo-sableux du tertiaire, issus de l'érosion du Massif Central, leur densité de drainage élevée et leur relief plat leur donne des caractéristiques proche de la Sologne.

Relief peu élevé (inférieur à 200 m),
Pentes faibles,
Climat océanique.

21. Massif central nord

48 Montagne bourbonnaise

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Limites : **géologie et relief**,

au nord, à l'est à l'ouest, fossés tectoniques,

au sud hautes terres granitiques orientales .

Cette petite unité constitue un prolongement au nord des hautes terres granitiques orientales (Monts de la Madeleine) qui descend en pente assez douce vers le nord entre les deux fossés drainés par la Loire et l'Allier.

Relief assez doux,
Pentes moyennes,
Climat influencé par les reliefs proches.

89 Hautes terres Plateau Limousin

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Hydro-écorégions du bassin de la Loire (JG WASSON 1996, 2001)

Limites : **relief, climat**,

au nord et à l'ouest, plateau limousin,

au sud, versant occidental du massif central,

à l'est, hautes terres volcaniques humides.

Il s'agit de la partie la plus élevée du plateau limousin (700 à 1000 m), au climat plus humide et plus froid que le plateau limousin.

Relief de plateau élevé,
Pentes moyennes à faibles,
Climat montagnard humide.

92 Massif central plateau Limousin

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandesris, H Pella 2002)

Hydro-écorégions du bassin de la Loire (JG WASSON 1996, 2001)

Limites: **géologie, relief** ,

au sud, hautes terres du plateau limousin ,
 à l' ouest, versant occidental du massif central,
 au sud, hautes terres limousines, et versant occidental du Massif Central,
 au nord ouest, dépôts argilo-sableux périphériques du Massif Central ,
 au nord, tables calcaires sud Loire,
 à l'est, Limagne.

Cette zone est constituée d'un plateau granitique descendant en pente douce vers les tables calcaires situées au nord du massif central.

Relief de plateau , d'altitude peu élevée (150 à 700 m),
 Pentes assez faibles sauf sur les versant des vallées incisant le massif,
 Climat océanique humide (premiers reliefs d'ouest).

22. Ardennes

34 Ardennes

Définition des hydro-écorégions de France (JG Wasson , A Chandèsris, H Pella 2002)

Limites : géologie (massif schisteux rhénan) et relief
 au nord, frontière,
 à l'ouest, plaines de la Thiérache ,
 au sud , côtes calcaires du Bassin Parisien.

Correspond aux formations géologiques primaire du massifs schisteux rhénan, plus étendu en Belgique.

Relief peu marqué sauf au niveau de la vallée de la Meuse, pentes douces à l'ouest, climat océanique

Annexe 6 : Typologie des masses d'eau par couplage HER x Rang

La présente annexe reprend les éléments « Document de travail » diffusé le au 8 avril 2002 aux membres du Groupe de Travail Directive Cadre « Eaux de Surfaces Continentales » sous le titre suivant :

Note d'information N°3 - Typologie des masses d'eau de type cours d'eau : Proposition d'une méthodologie pour une grille nationale par couplage des hydro-écorégions et rangs de Strahler. par Jean-Gabriel Wasson, André Chandèsris et Hervé Pella

Objet de la présente note

La note d'information N°2 diffusée le 4 mars 2002 faisait état des différences importantes concernant la proportion du réseau effectivement pris en compte dans l'ordination réalisée par les différentes agences de bassin. Nous avons signalé que cette disparité rendait problématique la comparabilité de la typologie par rangs entre les différents bassins.

Le groupe technique national Directive Cadre OE/ESC a discuté de ces problèmes lors de sa réunion du 14 mars 2002. Le relevé de conclusions de cette réunion évoque les quatre points suivants qui restent à préciser :

1. Faut-il individualiser les drains principaux de faible rang ? Si l'on ajoute un critère de rang en deçà duquel les masses d'eau seront délimitées de manière surfacique (=statistique), solution vers laquelle penche la majorité du groupe, faut-il différencier ce critère en fonction des hydro-écorégions ? A quelle entité géographique (hydro-écorégions, sous secteur hydrographique..) doit être rattaché le petit chevelu évalué statistiquement ?
2. Prenant acte des problèmes d'ordination hétérogènes entre les bassins, et du fait qu'une ordination homogène au niveau national, qui dépend du groupe « référentiels », est peu envisageable à court terme, il est proposé de créer des « passerelles » pour comparer les rangs des cours d'eau entre les bassins.
3. Le travail mené sur Loire Bretagne pour tenir compte de « l'histoire amont » des cours d'eau, en différenciant au niveau de sous-types ceux qui sont « endogènes » et « exogènes » par rapport aux hydro-écorégions que traversent leur bassins, est jugé intéressant dans son principe qui reste à formaliser pour une éventuelle application nationale.
4. Il est finalement suggéré que soit établie une codification nationale des types qui permette une homogénéisation inter-bassins indépendamment des problèmes d'ordination évoqués au point 2.

La présente note vise à apporter des éléments techniques de réponse sur ces quatre points.

Note : nous utiliseront les abréviations suivantes dans ce texte :

BV pour « bassin versant »

CE pour « cours d'eau »

HER pour « hydro-écorégions »

ZH pour « zone hydrographique »

Le terme de « rang » se réfère à l'ordination selon la méthode de Strahler,

Remarques préliminaires concernant l'ordination.

L'objectif de la typologie est de définir des milieux comparables selon leur caractéristiques physiques, et la dimension du cours d'eau constitue évidemment un critère important. L'ordination de Strahler a été proposée comme méthode simple, robuste, permettant de proposer des limites typologiques au niveau de discontinuités réelles du réseau hydrographique correspondant à des changements de dimension. Ceci permet de s'affranchir de limites de classes arbitraires, par exemple sur la surface du BV, qui pourraient soit aboutir à diviser des tronçons homogènes, soit occulter des sauts quantitatifs importants le long d'un linéaire de CE.

L'intérêt majeur de l'ordination de Strahler est de prendre en compte la structure et la densité du réseau. La densité de drainage reflète en première approche la quantité d'eau transportée en surface durant les épisodes de forts débits, c'est à dire la résultante du bilan hydrique (précipitations moins évapotranspiration) et de la perméabilité des roches ; c'est un des indices les plus significatifs en terme de processus hydrologiques au niveau du bassin (Gregory & Walling 1973)⁶. Or ces deux facteurs varient très fortement selon les HER, et la densité du réseau reflète ces variations. Il est donc logique que des tronçons de même rang aient des surfaces de BV sensiblement différentes selon les régions, mais cela est compensé par l'influence de la lame d'eau écoulée. Aussi des CE de même rang dans différentes régions auront des dimensions relativement comparables.

Des relations entre rangs et dimension du CE ont été testées dans le bassin de la Loire (Souchon *et al.* 2000)⁷. Les résultats montrent que à rang égal, la distance aux sources est nettement plus élevée dans les Tables Calcaires par rapport aux autres régions. En revanche, la largeur moyenne du lit, qui reflète bien la dimension du cours d'eau, est équivalente à rang égal dans le massif Armoricaire, les Tables Calcaires et le Limousin (HER Massif Central nord), ce qui montre bien que les différences géologiques sont compensées. Cependant les CE des régions les plus arrosées du Massif Central (correspondant à l'HER Massif Central sud) présentent des largeurs un peu supérieures pour les rangs 2 et 3. Pour le bassin de la Loire, les largeurs moyennes de CE sont de l'ordre de :

- 0,5 à 2 m en rang 1
- 2 à 4 m en rang 2
- 4 à 8 m en rang 3
- 8 à 12 m en rang 4
- 18 à 20 m en rang 5.

En conséquence, il n'y pas de raisons *a priori* pour établir une typologie des rangs différente selon les HER.

A contrario, l'utilisation des surfaces de BV nécessiterait d'établir des limites de classes différenciées en fonction des HER pour identifier des CE de dimensions comparables.

Cependant, il faut apporter ici quelques précisions importantes :

- L'ordination reflète assez bien les débits liquides et solides transportés en hautes eaux, mais ne préjuge en rien de la variabilité hydrologique saisonnière, qui est une caractéristique des HER. Autrement dit, il est normal que des CE de même rang aient des débits de module ou d'étiage assez différents selon les régions traversées par leurs bassins.
- En revanche, les épisodes de hautes eaux sont ceux qui structurent la morphologie du cours d'eau, en particulier la section à plein bord et les faciès morphodynamiques. Mais la structure morphologique qui en résulte dépend aussi d'autres paramètres comme la pente, qui conditionne l'énergie du CE, et la nature des sédiments transportés, fonction de la géologie du bassin. Ces deux facteurs sont bien pris en compte par les HER. De ce fait, le couplage HER x rangs est supposé avoir une signification réelle en terme de morpho-dynamique et d'habitat aquatique.
- L'ordination reflète également une structure géomorphologique des massifs, qui peut être notablement compliquée par des accidents tels que de grandes failles, des plissements, des épandages éluviaux qui imposent aux vallées des structures particulières. Dans certains cas, les confluences principales qui déterminent les changements de rang peuvent être très éloignées ou au contraire très rapprochées. Ces particularités géomorphologiques pourront être

⁶ Gregory K.J. & Walling D.E. 1973. *Drainage basin form and process*, Edward Arnold, London.

⁷ Souchon Y. et al. 2000. *Régionalisation de l'habitat aquatique dans le bassin de la Loire*. Rapport Cemagref Lyon BEA/LHQ & Agence de l'Eau Loire Bretagne, 291p. Voir figures 2.6 à 2.9 p 43. Document accessible en ligne sur le site web : <http://www.lyon.cemagref.fr/bea/lhq/lhq.html>, (rubrique publications).

prises en compte pour corriger les quelques situations où l'ordination paraît donner des résultats aberrants quant à la dimension réelle des cours d'eau.

- Du fait de ces variations d'origine géomorphologique, la relation entre rang et capacité de transport doit évidemment être vue de manière statistique, ce qui suppose une certaine gamme de variabilité à l'intérieur de chaque classe de rang. Néanmoins, à une échelle nationale et pour un objectif de typologie, cette relation est suffisamment robuste pour être utilisée.

I – La délimitation des « petits cours d'eau »

I.1 Faut-il individualiser les drains principaux de faible rang ?

Il est évident que par construction, les ZH situées en tête de bassin auront pour drain principal des CE de rang faible. Or rien n'indique que ces CE seront différents d'autres tronçons de même rang situées dans la même HER, mais qui ne sont pas des drains principaux. Il n'y a donc aucun inconvénient à les considérer de la même manière statistique en terme d'évaluation de l'état écologique.

Toutefois, nous avons signalé précédemment que si la différence de rang entre le petit affluent et le drain principal est importante, le peuplement de poissons du petit CE est susceptible d'être influencé par l'aval. Ce point devra être considéré avec attention lors de l'établissement des conditions de référence pour les poissons.

Le problème de la représentation cartographique d'un cours d'eau jusqu'à sa source peut-être dissocié de celui de la typologie en créant une couche cartographique dédiée à la communication.

I.2 Faut-il différencier le critère de rang délimitant les petits CE selon les HER ?

Compte tenu des remarques préliminaires concernant l'ordination il n'y pas de raisons *a priori* d'établir une limite de rang différente selon les HER pour différencier les petits cours d'eau.

Si des incohérences apparaissent dans la mise en œuvre de la typologie, elles sont plus vraisemblablement liés aux différences de codification et donc de pourcentage de réseau ordonné entre les bassins.

I.3 A quelle entité géographique doit être rattaché le petit chevelu ?

Ce point ramène au problème de l'évaluation statistique, qui nécessite dans chaque ensemble à évaluer un nombre minimum de points de mesure tirés au hasard pour pouvoir réaliser une moyenne et un écart-type, ou mieux une distribution de fréquence. Pour fixer un ordre de grandeur, il sera difficile de réaliser des statistiques fiables avec moins de 20 points échantillonnés par ensemble à évaluer.

Le groupe technique « Réseaux » a proposé comme ordre de grandeur pour le nombre de points de mesure à placer sur les petits CE à l'échelle nationale un nombre allant de 1000 à 1500. Sachant qu'il y a environ 6200 ZH en France, on peut estimer réaliste d'échantillonner des petits CE dans une ZH sur 4 ou 6. Ce qui pour obtenir une statistique valable suppose de définir des entités de regroupement qui rassemblent au minimum une centaine de ZH (entre 80 à 120 selon le nombre total de points de mesures qui sera défini). En effet, pour l'évaluation, on peut imaginer un tirage au sort de ZH bien distribuées spatialement (par exemple par intersection d'une grille), et dans les ZH sélectionnées une procédure pour tirer au hasard un point d'échantillonnage, (sachant qu'il y aurait en moyenne 2 petits CE par ZH). Cette procédure ne présente aucune difficulté technique de mise en œuvre.

Sur cette base, les HER de niveau 1 ou 2 apparaissent comme des entités géographiques adéquates pour le regroupement en « masses d'eau » du petit chevelu. Elles ont dans la plupart des cas la dimension suffisante, et il sera possible toujours d'ajuster le nombre de points par entité en restant

dans l'enveloppe globale. Dans les régions les plus étendues (Tables Calcaires, Armoricaïn), un regroupement par HER de niveau 2 sera le mieux à même de garantir l'homogénéité des conditions de référence pour chaque ME.

Cette solution garantit par construction que chaque ME ainsi définie n'appartient qu'à un seul type (ou sous-type si l'on regroupe par HER-2). L'autre option consistant à regrouper par secteurs hydrographiques risquerait dans beaucoup de cas d'aboutir à des ME hétérogènes quant à la typologie.

II - Comparaison des rangs entre les bassins

II.1 comparaison des ordinations

Dans une précédente note du 4 mars dernier, nous avons fourni une première estimation du pourcentage de linéaire non codifié, et donc non ordonné, dans les différentes Agences. Nous avons recalculé pour chaque bassin, sur la BD CARTHAGE IFEN, le pourcentage de linéaire codifié par rapport au linéaire total. Nous avons vérifié au préalable que le nombre d'arcs de la BD IFEN n'était pas sensiblement différents de ceux des BD CARTHAGE qui nous ont été fournies directement par certaines Agences (LB, RMC, RM). Ces nouveaux résultats sont fournis dans le tableau I ci-dessous.

Agence	Réseau total		Non codifié	
	Nb arcs total	Lineaire total (km)	Linéaire total km	% linéaire
LB	133278	135494	22	0,02
RMC	160548	152380	66845	43,9
RM	29949	29874	9693	32,4
AG	117258	120023	48444	40,4
SN	44425	55768	20756	37,2
AP	10965	11477	6066	52,8
Total	496423	505016		

Tableau I – Proportion et linéaire des arcs « non codifiés » et donc « non ordonnés » dans les différentes Agences de l'Eau. Source : BD CARTAGE IFEN. Des différences minimales peuvent exister avec les BD CARTAGE des différentes Agences en fonction des corrections qui auraient pu être apportées récemment à celles-ci.

Le pourcentage de linéaire non codifié dans les bassins autres que Loire Bretagne varie de 32 à 52% du linéaire total. Il y a donc potentiellement pour tous les bassins une nette distorsion par rapport à l'ordination de LB.

II.2 - Equivalence de rangs entre bassins

Pour évaluer la comparabilité des ordinations entre Loire-Bretagne et les autres bassins, nous avons ensuite calculé sur quelques HER communes des surfaces de BV à l'exutoire de tronçons de rang 3 à 5 pour LB, et 2 à 4 pour les bassins SN, RMC et AG ⁽⁸⁾. Tout en soulignant la faiblesse de l'échantillon pour certaines régions (notamment Morvan) et pour les rangs les plus élevés, il est possible de tirer certaines conclusions préliminaires :

- D'une manière générale, l'ordination de Loire Bretagne fournit des résultats plus cohérents que celle des autres bassins. Le graphe des surfaces de BV par rang pour le bassin de la Loire dans l'ensemble des régions du Massif central montre une bonne discrimination, sans

⁸ Les résultats détaillés ont été fournis dans la note d'information N°3 du 8 avril 2002.

recouvrement des interquartiles. Dans toutes les régions testées, il y a moins de recouvrement entre les surfaces de BV par rang pour Loire Bretagne que pour les trois autres bassins.

- Dans les Tables Calcaires, la comparaison entre LB et SN montre assez nettement un décalage d'un rang (sur les rangs testés) entre les ordinations de ces deux bassins, avec une bonne concordance des valeurs médianes.
- Dans le Massif Central, un décalage existe, mais il n'est pas systématiquement d'un rang. Les valeurs médianes des surfaces de BV sont généralement plus faibles dans les rangs 2, 3 et 4 de SN (région du Morvan), RMC (Lyonnais, Pilat) et AG (sud du Massif Central) que dans les rangs 3, 4 et 5 de LB.

Ces résultats pourraient être affinés, mais d'une part il est peu probable que les tendances observées soient invalidées, notamment pour les rangs faibles pour lesquels l'échantillon est déjà assez conséquent, et d'autre part, il sera de toutes façons impossible de comparer certaines HER peu ou pas représentées dans le bassin de la Loire.

Dans l'immédiat, les recommandations suivantes peuvent être formulées :

1. Il existe un décalage entre les résultats d'une ordination sur l'ensemble du réseau (Loire Bretagne) et d'une partie du réseau. L'ordination partielle entraîne une proportion d'erreur plus fréquente dans les têtes de bassins, qui se propage ensuite sur les rangs aval, mais plus ou moins loin selon la densité du réseau en tête de bassin. Le décalage est probablement d'un rang en tête de bassin dans les régions de calcaires perméables, mais moins important sur des roches imperméables.
2. La limite des « petits cours d'eau » peut être fixée au rang 3 en Loire Bretagne. Dans les autres bassins, on prendra *a priori* comme limite le rang 2. Mais compte tenu des différences liées à la géologie, une certaine marge d'interprétation peut être laissée dans l'application de ce principe, par un choix entre les rangs 2 et 3 dans les régions à forte densité de drainage (roches non calcaires).
3. Il est impossible de fournir une équivalence fiable des ordinations actuellement réalisées entre les différents bassins, pour tous les rangs sur tous les types de substrats. A titre d'exemple, dans le bassin de la Seine, le décalage se poursuit jusqu'au rang 6 dans le bassin de l'Oise, mais pas sur les autres sous-bassins qui prennent naissance dans des régions où le réseau est plus dense. Ceci nous incite à recommander l'homogénéisation au niveau national à partir d'une ordination totale du réseau dans les meilleurs délais possibles. Après analyse, cette solution apparaît en outre comme la plus fondée du point de vue de l'analyse du réseau hydrographique.
4. Dans l'immédiat, à titre provisoire, nous proposons un tableau de codification de la taille des cours d'eau à partir des ordinations actuellement réalisées dans les différents bassins (tableau II). Nous insistons sur le fait que cette « passerelle » est approximative, et ne permet pas de compenser les variations liées à la géologie signalées ci-dessus. Elle ne dispensera donc pas d'une homogénéisation des ordinations au niveau national.
5. Par ailleurs, nous signalons l'existence de deux cartes d'ordination des bassins de la Seine (Belliard, 1994)⁹ et du Rhône (Le Fellic, 1990)¹⁰. Bien que réalisées manuellement à partir de cartes au 1/100.000^{ème}, ces ordinations semblent plus fiables que celles dérivées d'une prise en compte partielle du réseau. Elles pourraient servir à corriger les ordinations existantes de ces deux bassins en particulier pour les cours d'eau principaux.

Nous distinguerons au total 7 classes de taille, avec les équivalences de rang pour une ordination de la totalité du réseau (cas 1, LB). Pour une ordination d'une partie du réseau (cas 2, autres bassins) cette correspondance est approximative et devra être effectuée avec discernement dans chaque bassin ;

⁹ Belliard, J. 1994. Le peuplement ichtyologique du bassin de la Seine, rôle et signification des échelles temporelles et spatiales. Thèse de doctorat Université Paris VI, Cemagref, 197p.

¹⁰ Le Fellic, A. 1990. L'ordination des cours d'eau du bassin versant du Rhône. Mémoire de maîtrise d'Aménagement, Université Lyon III, 180p.

dans ce deuxième cas, on distinguera les régions de calcaires perméables et les régions non calcaires. Ces régions sont indiquées sur la carte présentée ci-après.

Remarque : le Rhône à l'aval de l'Isère est classé en rang 9 par Le Fellic (1990), et le Rhin en Alsace peut lui être comparé. Il est souhaitable d'individualiser ces tronçons comme des masses d'eau à part, ce qui justifie la 7ème catégorie.

Classes de taille	Rangs de Strahler cas 1 (LB) Ordination totale	Rangs de Strahler cas 2 (autres) Ordination partielle	
		Calcaires	Non calcaires
T1 – Petits CE	1+2+3	1 + 2	1+2 (parfois+3)
T2	4	3 (parfois 4)	3 ou 4
T3	5	4 ou 5	5
T4	6	6	6
T5	7	6 ou 7	7
T6	8	7 ou 8	8
T7	-	-	9 (fleuves Alps)

Tableau II – Codification de la taille des cours d'eau. Equivalence provisoire de rangs pour une ordination incomplète du réseau.

III- Prise en compte de « l'histoire amont » des cours d'eau

Les caractéristiques écologiques des CE dépendent à la fois de l'HER dans laquelle ils se situent, notamment pour la morphologie locale, mais aussi des influences amont de leur bassin versant, pour la physique-chimie de l'eau, le régime hydrologique et sédimentologique. Il apparaît donc utile de compléter le croisement élémentaire HER x rang par la prise en compte des HER qui représentent une part significative du bassin amont. Ceci ne vaut évidemment que pour les moyens et grands cours d'eau, les petits pouvant être systématiquement considérés comme endogènes d'une seule HER.

Remarque : pour les petits CE, l'affectation à un type se fera généralement sur la base de l'appartenance de sa ZH à une HER. Toutefois, un certain nombre de ZH (environ 7%) n'ont pas été affectées à une HER car elle apparaissent trop hétérogènes pour une affectation univoque. Dans ce cas, il sera nécessaire d'affecter un type à chaque petit CE à l'intérieur de ces ZH en fonction de l'HER dont il provient majoritairement *en donnant la priorité à l'influence amont*.

Cette méthode conduit à séparer des sous-types de CE « endogènes » et « exogènes » de l'HER dans laquelle ils se situent, en fonction des HER dont ils proviennent. A l'évidence, un certain nombre de ces sous-types sont marginaux quant au nombre de masses d'eau qu'ils représentent, et leur pertinence devra être ré-évaluée au cours du processus de définition des conditions de référence. Néanmoins il semble utile de les lister a priori.

A titre d'exemple, dans le bassin Loire Bretagne, cette distinction entre types endogènes et exogènes ne conduit à rajouter des sous-types significatifs que pour les rangs 5 et 6, et l'on arrive ainsi à 34 types et sous-types non marginaux pour 8 HER et 6 classes de rangs.

Il est probable que tous ces sous-types ne se différencieront pas en terme de conditions de référence sur tous les paramètres. Les premiers tests réalisés sur les peuplements d'invertébrés montrent que la structure régionale des peuplements est forte, mais que selon les HER de nombreux regroupements sont possibles entre les rangs. En revanche, pour les poissons, on peut s'attendre à ce que la structure longitudinale des peuplements soit plus marquée.

Il sera donc possible à la fin du processus de définition des conditions de référence d'affecter à chaque sous-type des classes de valeurs pour les différents paramètres de qualité, et ne seront conservés in fine que les types qui présentent une différence significative sur au moins un paramètre important pour l'évaluation de l'état écologique.

Dans la pratique, il est conseillé de commencer le classement typologique par les CE de rang les plus élevés. En effet, un grand CE qui intègre les apports d'un BV généralement hétérogène sera moins sensible aux influences locales des HER qu'il traverse. Pour définir un changement de type, on évaluera donc l'influence possible de l'HER traversée sur la morphologie (changement de pente, contrainte de la vallée) et sur le régime hydro-sédimentologique en fonction des apports propre à cette HER. A titre d'exemple, la Loire en rang 8 depuis le Bec d'Allier est classée dans un seul type jusqu'à son estuaire, car ni la traversée de la Sologne (HER « Dépôts Argilo-sableux »), ni même celle du Massif Armoricaïn ne modifient sensiblement sa morphologie naturelle et son fonctionnement hydrologique. Pour les CE de taille intermédiaire, il sera souvent nécessaire de distinguer des sous-types « endogènes » et « exogènes ».

Nous présentons à titre exemple le tableau typologique provisoire construit pour le bassin Loire-Bretagne (**tableau III**). Sur ce schéma, les rectangles bleus et verts indiquent les types confirmés, au croisement des HER (lignes) et des rangs (colonnes) ; les ovales jaunes indiquent des types qui existent, mais sont représentés par un petit nombre de CE et restent à évaluer. Les flèches signalent les sous-types « exogènes » en indiquant l'HER de provenance des CE. Les rectangles verts correspondent à des types constitués par regroupement de régions ou de rangs. Les tirets violets suggèrent des regroupements ultérieurs envisageables.

IV- Codification des types

Sur la base de l'exemple précédent, nous pouvons suggérer un système de codification national des types.

Nous suggérons de coder la classe de taille par un chiffre de 1 à 7, et les HER par un code alphabétique plus explicite à deux ou trois caractères qui sera fixé avec la version définitive de la carte des HER. (Un codage à une seule lettre, plus simple mais moins explicite, peut aussi être proposé ; il aurait l'avantage de permettre de coder sur deux caractères seulement les HER de niveau 2).

Le type sera alors simplement défini par l'association du code HER et du code de taille.

Pour les sous-types exogènes, on rajoutera entre parenthèses le code de l'HER de provenance.

Pour les types définis par regroupement de rangs, on notera les classes de tailles regroupées avec le signe +.

Pour les types définis par regroupement de HER, on notera les régions regroupées avec le signe + avant le code de taille.

Le **tableau IV** illustre, à partir de la typologie de Loire-Bretagne, le résultat de cette codification. Cette proposition est évidemment à discuter et pourra être améliorée en fonction des remarques du groupe de travail.

Tableau III – Proposition de Tableau typologique pour le bassin Loire Bretagne (version provisoire, en cours de validation)

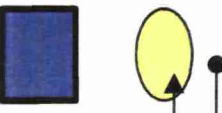
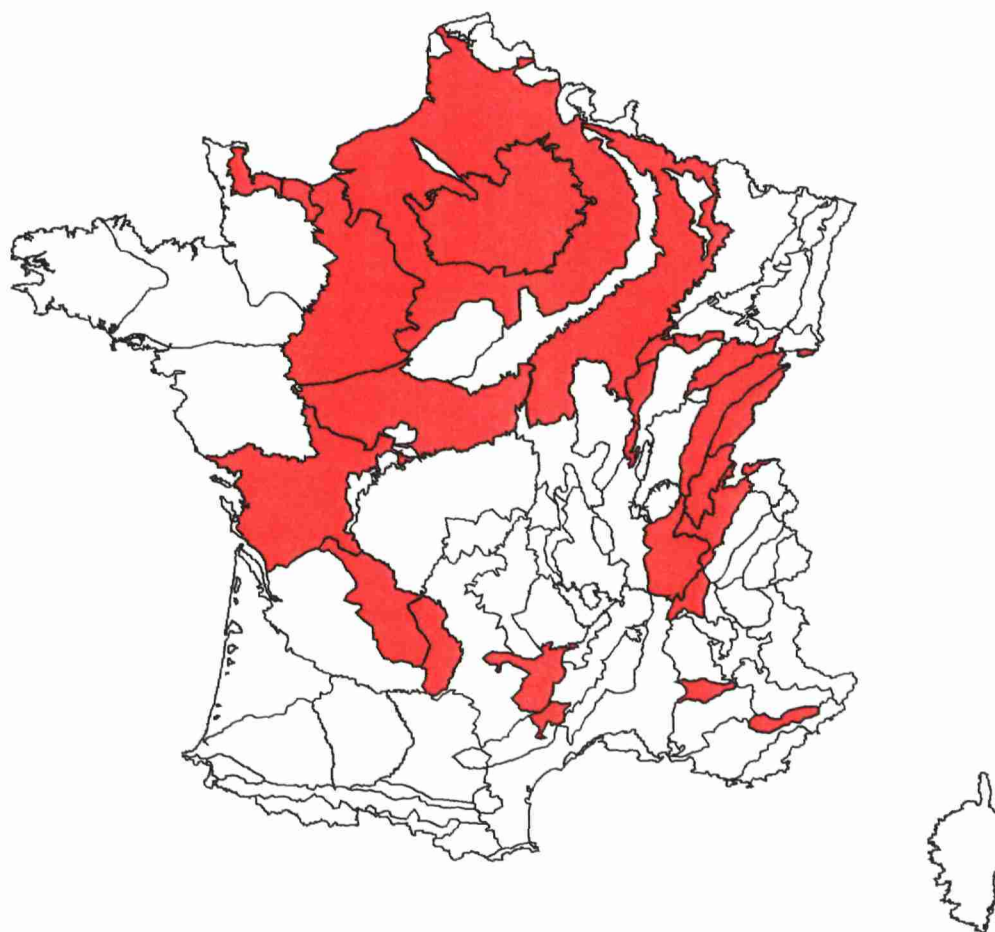
HER X RANG	8	7	6	5	4	1+2+3
Massif ArmoricaIn						
Tables calcaires			  	  	 	  
Dépôts argilo sableux					 	
Limousin Morvan						
Dépressions sédimentaires			 	 	 	 
Massif central				 		
Côtes calcaires					 	
Climat Cévenol						
	1	2 (1)	7(1)	7(3)	8(3)	9(3)

Tableau IV – Proposition de codification à partir de l'exemple du Bassin Loire Bretagne.

HER X Taille	6	5	4	3	2	1
MA			MA-4	MA-3	MA-2	MA-1
TC	TC+MA-8	TC-5-(MCN)	TC-4 TC-4-(MCN)	TC-3 TC-3-(MCN)	TC-2	TC-1
DA			DA-3+4		DA-2	DA-1
MCN			MCN-4	MCN-3	MCN-2	MCN-1
MCD		MCD-5-(MCS) : :	MCD-4-(MC)	MCD-3-(MC)	MCD-2-(MC)	MCD-1 MCD-1-(MC)
MCS			MCS-4-(CV)	MCS-3	MCS-2	MCS-1
CC				CC-3-(MCN)	CC-2	CC-1
CV					CV-2	CV-1

Carte des régions de calcaires perméables (en rouge)

Annexe 7 Caractérisation quantitative des hydro-écorégions - Données

Géologie

Le croisement de la carte lithologique obtenue à partir des informations issues de la carte géologique du BRGM au 1/1000 000^{ème} (6^{ème} édition) avec les cartes d'hydro-écorégion de niveau 1 et 2 a permis d'obtenir les tableau de surfaces et de répartition des natures de roches par HER .

Le tableau 7.1 donne la répartition en km2 par hydro-écorégion de niveau 1 et par nature de roches dont les codage figurent ci dessous :

nature de roche	code roche
alluvions fluviales	a
alluvions quaternaires	b
dépôts glaciaires	c
sables	d
argiles et sables	e
molasses	f
calcaires massifs	g
craies	h
séries carbonatées	i
roches détritiques carbonatées	j
marnes	k
marnes à évaporites	l
flyxhs sédimentaires	m
schistes et grès carbonifères	n
roches détritiques non carbonatées	o
schistes sédimentaires primaires	p
roches volcaniques quaternaires	q
schistes métamorphiques	r
roches détritiques cristallines	s
roches métamorphiques	t
roches cristallines	u
roches basaltiques	v

NOM_HER1	CODE_HER1
PYRENEES	1
ALPES INTERNES	2
MASSIF CENTRAL	3
VOSGES	4
JURA-PREALPES DU NORD	5
MEDITERRANEEN	6
PREALPES DU SUD	7
CEVENNES	8
TABLES CALCAIRES	9
COTES CALCAIRES EST	10
CAUSSES AQUITAINS	11
ARMORICAIN	12
LANDES	13
COTEAUX AQUITAINS	14
PLAINE SAONE	15
CORSE	16
DEPRESSIONS SEDIMENTAIRES	17
ALSACE	18
GRANDS CAUSSES	19
DEPOTS ARGILLO SABLEUX	20
MASSIF CENTRAL NORD	21
ARDENNES	22

code her1	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	Total par HER1
1	155	321	244	0	0	149	523	0	1 998	264	0	248	2 423	0	185	3 003	16	0	102	2 553	1 510	17	13 710
2	117	5	83	0	0	67	479	0	1 281	314	777	558	1 730	216	0	3	0	5 406	226	1 881	819	182	14 145
3	218	84	637	4	2 101	23	101	0	206	21	290	0	0	865	253	101	5 178	3 505	1 127	9 970	13 417	356	38 460
4	74	48	181	0	0	0	9	0	234	0	172	18	0	394	3 035	57	4	272	492	576	1 945	0	7 510
5	1 394	1 727	2 927	38	0	3 029	9 397	3	4 248	421	855	282	459	20	1	13	0	17	6	74	20	0	24 930
6	5 346	2 899	0	825	46	4 226	5 930	0	5 074	2 485	1 454	744	185	37	207	458	67	327	474	1 184	472	22	32 464
7	162	106	116	0	8	283	3 304	0	3 486	527	3 830	293	46	1	8	0	0	0	19	0	0	2	12 191
8	37	2	0	8	9	6	725	0	227	0	251	0	0	270	467	388	372	2 081	452	2 187	1 859	4	9 345
9	10 744	4 884	1 263	3 788	10 215	1	24 977	56 389	14 883	18	12 164	0	0	25	345	63	0	25	609	72	71	18	140 555
10	1 816	581	73	0	154	0	25 354	26	3 943	178	8 742	4 234	0	21	713	42	6	0	56	84	206	4	46 233
11	291	267	9	0	871	223	3 918	0	3 908	135	1 057	0	0	7	76	3	0	25	7	3	31	0	10 830
12	1 876	1 393	117	255	54	0	227	91	39	0	517	0	0	2 132	607	3 031	0	2 693	24 990	6 584	16 420	799	61 826
13	381	1 359	0	6 070	0	4 814	0	0	276	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12 900
14	5 709	7 390	93	46	3 106	18 118	48	0	7 398	648	24	74	1 461	7	3	5	12	103	13	47	37	0	44 351
15	1 812	2 485	1 214	0	3	21	469	36	81	524	3 078	6	0	0	0	2	0	0	0	1	4	7	9 741
16	8	541	0	0	0	214	66	0	217	0	0	0	0	30	0	0	0	1 604	29	304	5 696	416	9 126
17	1 059	1 082	0	29	4 691	0	68	0	26	0	126	0	0	10	120	0	28	0	70	45	82	0	7 435
18	2 165	890	0	0	332	4	108	0	18	487	1 528	138	0	6	84	0	1	0	5	3	13	0	5 784
19	0	0	0	0	0	0	3 042	0	15	0	156	0	0	2	66	2	19	38	117	55	22	0	3 534
20	2 083	2 330	616	308	5 863	0	742	547	143	0	257	0	0	5	0	39	0	0	28	7	88	0	13 058
21	317	373	209	4	1 153	0	125	0	539	0	532	0	0	477	680	111	102	388	1 259	10 040	14 400	106	30 815
22	2	6	0	0	65	0	3	62	0	0	31	0	0	92	0	1 009	0	94	273	0	0	0	1 636
Total par roche	35 765	28 774	7 781	11 375	28 672	31 179	79 614	57 153	48 239	6 021	35 841	6 595	6 305	4 617	6 850	8 328	5 806	16 578	30 353	35 669	57 114	1 932	550 577

Tableau 7.1. - Répartition des surfaces en km2 des natures de roches par HER de niveau 1

code her2	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	total par her 2
1	50	1	0	1 126	0	0	0	50	0	0	0	0	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 275
2	127	87	0	4 104	1	159	0	144	122	16	0	0	72	0	1	0	0	0	0	0	0	295	5 126
3	0	46	0	1 910	2	160	0	0	3	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	401	2 532
4	52	61	0	26	0	0	0	174	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	314
5	0	5	0	1 648	0	134	0	8	3	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	556	2 387
6	25	3	0	2	0	37	302	20	89	19	0	0	42	2	0	0	0	0	1	0	0	797	1 337
7	40	52	0	0	0	1 204	0	7	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 319
8	6	0	0	0	0	0	0	32	47	0	0	169	0	0	0	177	0	0	30	19	0	61	542
9	5	0	0	12	0	0	132	16	39	0	16	9	48	7	0	26	0	0	102	1 226	0	204	1 843
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	51	0	0	0	280	0	0	0	1 236	0	0	1 611
11	15	55	0	663	0	17	0	277	0	100	0	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	325	1 471
12	21	0	0	0	0	1	160	65	72	27	37	304	39	23	0	758	0	0	22	584	1	224	2 339
13	0	0	0	291	0	1	0	517	0	60	0	0	51	0	0	0	0	0	0	0	0	317	1 236
14	40	4	0	299	0	0	0	1 721	0	26	0	0	5	0	8	0	0	0	0	0	0	1 236	3 340
15	115	71	0	12	0	115	4	1 199	44	21	2	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	337	1 923
16	0	31	0	972	0	0	0	0	0	35	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	71	1 118
17	4	0	8	812	0	0	0	127	95	28	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	147	1 224
21	338	1 358	0	0	0	0	0	0	0	4 814	0	0	0	0	0	0	0	5 919	0	0	0	174	12 602
22		209		51						52	416	5 696		29		304			30	1 602		216	8 606
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	22	0	0	0	0	0	153	0	190
24	21	66	0	0	0	38	0	0	0	84	0	659	0	0	3	502	0	0	0	0	672	1	2 046
25	450	277	2	181	0	15	0	2 961	3 748	0	0	0	0	3	228	0	6	0	0	0	0	2 455	10 327
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	199	0	0	0	0	0	0	23	222
27	119	0	0	1 826	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 945
28	806	2 304	2 428	504	47	0	0	69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	213	0	0	0	0	6 371
30	28	18	0	925	0	0	0	59	0	0	0	0	0	42	0	0	0	2	0	0	2	0	1 075
31	936	3	1 842	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	94	0	0	0	0	2 903
32	0	0	0	0	13	0	0	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	8	0	9	340	432
33	290	0	441	0	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	800
34	2	6	65	3	62	0	0	31	0	0	0	0	0	273	0	0	0	0	92	94	1 009	0	1 636
35	0	0	0	0	63	0	0	356	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	247	666
36	1 224	436	2 835	4 684	791	0	0	674	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 925	0	0	0	6 070	18 638
37	308	187	0	165	0	20	0	379	0	0	18	9	0	258	264	9	0	0	2	0	34	0	1 655
38	1 584	1 057	2 961	3 861	14 881			470						6				1 607				25	26 452
39	46	0	353	0	373	0	0	0	0	0	0	0	0	28	0	0	0	0	5	0	38	0	843
40	846	529	41	988	1 427	0	0	4 078	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	7 911
41	1 302	1 185	2 808	5 658	7 428	24	0	2 638	0	0	0	2	0	20	70	27	0	5	2	1	0	170	21 339
42	6	23	799	238	32	616	0	188	0	0	0	88	0	0	0	7	0	0	0	0	1	143	2 141
43	119	40	540	0	0	0	0	0	0	0	0	61	0	0	0	187	141	0	16	0	2	3	1 109
44	10	1	116	0	0	0	0	0	0	0	5	530	0	0	0	271	13	0	30	0	0	0	975

Tableau 7.2- Répartition des surfaces en km2 des natures de roches par HER de niveau 2 (cf annexe 5 pour le code her2)

code her2	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	total par her 2
45	155	121	408	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	7	10	0	0	0	0	0	722
46	101	454	672	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	13	2	0	0	0	1 261
47	0	0	229	0	0	0	0	0	0	0	0	70	17	0	0	7	111	0	0	0	0	0	433
48	0	0	38	0	0	0	0	0	0	0	6	379	0	57	0	9	2	0	28	0	0	0	519
49	0	0	65	0	0	0	0	0	0	0	0	190	0	1	0	74	991	0	0	0	0	0	1 321
50	0	0	149	0	0	74	0	0	0	0	24	3 873	0	5	0	1 073	115	0	110	0	0	0	5 424
51	3	15	37	825	1	0	0	2 454	38	0	0	145	21	34	59	50	0	0	18	0	0	168	3 869
52	804	507	3 610	68	0	0	0	126	0	0	0	61	0	70	120	38	0	16	7	0	0	26	5 452
53	857	112	57	17 751	12	0	0	1 534	0	0	0	0	0	5	22	0	0	0	0	0	38	0	20 388
54	1 356	759	84	2 711	12 520	0	0	2 644	0	0	0	10	0	243	3	0	0	27	9	24	15	1 607	22 011
55	144	235	41	169	45	0	0	116	0	0	80	3 187	0	8 356	40	100	0	96	88	0	506	22	13 224
56	469	187	0	503	0	0	0	3	3	1 234	0	0	1 232	0	0	0	4	0	0	0	0	480	4 116
57	1 703	291	1 120	13	19 200			142						11				155	4		2	26	22 668
58	1 357	582	3	58	40	117	0	400	0	0	309	5 206	0	3 920	538	2 790	0	101	280	2 245	515	6	18 467
59	13	100	2	0	0	0	0	0	0	0	117	4 951	0	2 532	0	2 527	0	44	1 216	324	997	2	12 828
60	362	476	8	0	6	0	0	0	0	0	292	3 077	0	10 182	29	1 167	0	14	548	124	1 013	9	17 307
61	29	68	0	71	0	0	0	912	138	0	0	3	0	0	76	1	1	0	2	0	0	12	1 313
62	2 093	747	332	2	0	0	0	193	0	0	0	10	0	0	7	1	0	0	2	0	0	2	3 389
63	27	9	0	9	0	80	0	15	12	0	0	1 870	0	105	268	551	4	0	216	268	52	11	3 498
64	187	213	830	1 732	0	9	0	132	0	151	0	1	65	1	5	1	0	0	2	22	1	3 871	7 224
65	104	54	41	2 185	0	0	0	925	0	72	0	30	70	7	71	2	0	0	5	2	2	37	3 606
66	1 521	1 916	2 525	38	0	67	0	0	0	2 333	0	0	248	0	0	0	0	10	0	0	0	6 374	15 038
67	47	114	0	108	0	1	291	0	39	45	0	27	0	0	20	12	0	0	0	0	15	647	1 368
68	1 752	1 336	580	9	0	0	0	24	0	5 461	0	15	391	6	1	24	0	0	7	103	2	301	10 011
69	32	5	0	0	0	0	657	0	73	0	2	44	31	26	76	95	12	0	0	0	77	137	1 267
70	0	0	0	4	0	0	0	27	0	0	0	376	0	2	2	281	93	0	0	209	0	22	1 017
71	23	0	1	101	0	0	0	126	0	0	0	1 413	0	4	290	1 246	201	8	96	1 465	2	83	5 059
72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	110	0	29	0	209	0	0	0	227	29	92	697
73	43	75	0	36	0	0	0	423	0	4	0	0	487	5	1	0	0	0	3	0	0	5	1 082
74	47	39	0	0	0	101	0	157	6	0	0	75	0	387	2 768	24	0	0	178	3	4	223	4 013
75	111	22	0	1 826	13	0	0	404	48	0	0	6	34	15	76	11	0	0	2	0	0	10	2 579
76	220	204	0	566	0	1 208	8	4	6	773	0	0	33	0	0	0	0	0	0	0	0	375	3 397
77	1 221	2 452	0	1	0	26	1 371	0	74	3 689	0	22	0	8	3	23	12	32	0	0	3	679	9 616
78	1 216	1 687	1	0	0	0	90	0	0	6 635	0	0	9	0	0	0	0	5	0	0	0	44	9 686
79	460	17	0	463	0	133	149	106	17	163	0	0	131	0	0	0	0	0	4	15	0	1 246	2 905
80	51	0	0	0	0	119	0	284	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	2	13	243	770
81	923	1 146	3	419	36	0	0	874	1	0	0	0	471	0	0	0	0	0	0	0	0	58	3 930
82	3	8	0	1	0	0	0	20	0	0	0	21	36	0	30	13	0	0	0	0	0	281	413
84	797	1 226	0	24	0	10	0	2 023	5	4	7	3	53	0	0	0	0	0	0	0	2	23	4 177
85	496	1 311	0	40	0	961	0	11	0	1 917	0	20	123	4	0	74	0	38	0	0	0	11	5 006

Tableau 7.2 -Répartition des surfaces en km2 des natures de roches par HER de niveau 2 (cf annexe 5 pour le code her2)

code her2	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	total par her 2
86	25	37	98	5	0	32	0	14	0	0	326	2 454	2	3	0	1 569	1	0	473	0	32	92	5 161
87	137	101	321	105	0	0	0	364	0	0	48	3 425	0	452	0	420	2	0	185	0	50	530	6 141
88	8	332		15						162	0									2		1	520
89	6	1	48	0	0	3	0	0	0	0	0	1 742	0	9	0	1 247	81	4	28	0	14	0	3 182
90	21	0	102	21	0	128	0	26	0	0	0	2 419	2	12	0	1 403	164	0	13	0	4	6	4 321
91	5	4	315	12	0	345	0	49	0	2	0	476	0	52	0	1 135	3 608	4	9	103	0	0	6 119
92	174	272	746	20	0	206	0	168	0	0	52	8 854	0	741	680	8 364	16	0	235	388	47	8	20 973
93	38	2	487	63	0	60	0	200	0	21	0	3 234	0	1 026	253	4 043	36	0	214	3 175	34	13	12 899
94	0	26	0	0	0	48	668	0	8	0	12	380	131	37	10	301	0	0	0	0	758	11	2 391
95	0	0	0	0	0	14	10	0	0	0	0	162	7	0	0	580	0	0	0	0	355	6	1 133
96	55	110	0	415	0	143	797	0	127	20	3	238	94	24	55	1 063	4	0	0	0	972	1 195	5 315
97	2 393	421	367	5 973	66	1 218	0	679	0	1	0	50	18	30	5	36	0	51	0	0	0	6 397	17 706
98	169	134	0	94	0	58	0	1 071	399	0	0	0	0	0	98	0	0	0	0	0	0	685	2 708
99	53	11	58	1 693	0	0	0	200	0	0	0	35	4	0	0	10	0	0	1	0	0	300	2 365
101	85	5	0	0	0	81	92	42	91	0	34	240	0	11	0	242	0	0	49	808	2	346	2 128
102	960	8	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	1	266	0	0	0	5	1 244
103	7	2	8	2	0	0	0	21	0	6	4	68	0	436	75	660	33	0	173	373	381	116	2 365
104	111	12	2	1 263	0	0	0	610	0	264	0	23	261	1	72	6	4	18	6	11	1	950	3 615
105	3 470	2 542	19	2 208	0	0	24	549	93	2 419	0	112	754	4	53	203	49	401	0	61	318	1 853	15 131
106	2	0	0	917	0	0	42	267	154	114	0	0	456	16	0	0	0	0	1	0	0	1 378	3 348
107	0	0	0	466	0	2	1 346	622	309	40	51	46	227	184	0	397	0	0	12	1 532	0	445	5 683
108	181	98	0	0	0	0	0	0	24	0	6	225	0	422	9	803	4	23	31	245	8	15	2 093
112	154	52	25	1 837	0	0	28	293	623	230	16	0	220	36	32	9	5	118	0	0	0	1 517	5 195
113	0	0	0	3 042	0	0	0	156	0	0	0	22	0	117	66	55	19	0	2	38	2	15	3 534
114	0	0	0	118	0	0	133	0	0	75	0	0	19	0	42	0	0	0	0	11	88	212	699
115	6	0	1	618	0	0	0	76	0	0	0	1	0	10	100	0	45	0	1	33	5	6	903
116	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	112	0	0	0	164	0	0	0	0	43	41	361
Total	35 765	28 774	28 672	79 614	57 153	7 781	6 305	35 841	6 595	31 179	1 932	57 114	6 021	30 343	6 850	35 669	5 806	11 375	4 617	16 578	8 328	48 239	550 567

Tableau 7.2 - Répartition des surfaces en km2 des natures de roches par HER de niveau 2 (cf annexe 5 pour le code her2)

Relief

Une analyse de la distribution spatiale des valeurs d'altitude, de pente des terrains et de pente des thalwegs, obtenues à partir du modèle numérique de terrain au pas de 250 mètres a été effectuée par hydro-écorégion de niveau 1 et de niveau 2.

Les résultats, pour chacune de ces variables, figurent dans les tableaux ci après, accompagnés d'une représentation graphique de la distribution par HER-1.

Code HER1		"5 %"	"10 %"	"25 %"	"50 %"	"75 %"	"90 %"	"95 %"
1	PYRENEES	242 m	358 m	557 m	1 027 m	1 603 m	2 083 m	2 297 m
2	ALPES INTERNES	795 m	1 050 m	1 482 m	1 961 m	2 376 m	2 695 m	2 894 m
3	MASSIF CENTRAL SUD	325 m	387 m	508 m	679 m	944 m	1 125 m	1 221 m
4	VOSGES	265 m	296 m	361 m	460 m	632 m	824 m	939 m
5	JURA-PREALPES DU NORD	215 m	249 m	374 m	572 m	887 m	1 214 m	1 441 m
6	MEDITERRANEEN	5 m	19 m	69 m	175 m	325 m	502 m	607 m
7	PREALPES DU SUD	495 m	573 m	740 m	944 m	1 177 m	1 406 m	1 561 m
8	CEVENNES	214 m	282 m	438 m	651 m	900 m	1 175 m	1 283 m
9	TABLES CALCAIRES	23 m	42 m	81 m	121 m	155 m	192 m	217 m
10	COTES CALCAIRES EST	193 m	212 m	240 m	283 m	340 m	396 m	433 m
11	CAUSSES AQUITAINS	105 m	126 m	163 m	214 m	281 m	340 m	364 m
12	ARMORICAIN	11 m	24 m	51 m	87 m	139 m	197 m	228 m
13	LANDES	10 m	16 m	30 m	56 m	83 m	117 m	134 m
14	COTEAUX AQUITAINS	22 m	44 m	87 m	148 m	222 m	305 m	366 m
15	PLAINE SAONE	177 m	183 m	193 m	208 m	232 m	266 m	282 m
16	CORSE	22 m	52 m	164 m	456 m	861 m	1 296 m	1 563 m
17	DEPRESSIONS SEDIMENTAIRES	200 m	212 m	235 m	272 m	321 m	361 m	379 m
18	ALSACE	129 m	140 m	162 m	199 m	266 m	367 m	397 m
19	GRANDS CAUSSES	496 m	546 m	618 m	776 m	885 m	983 m	1 044 m
20	DEPOTS ARGILS SABLEUX	5 m	18 m	40 m	108 m	134 m	157 m	176 m
21	MASSIF CENTRAL NORD	207 m	236 m	297 m	376 m	498 m	689 m	761 m
22	ARDENNES	136 m	149 m	180 m	226 m	321 m	371 m	400 m

Tableau 7.3 - Distribution des valeurs d'altitude par HER de niveau 1

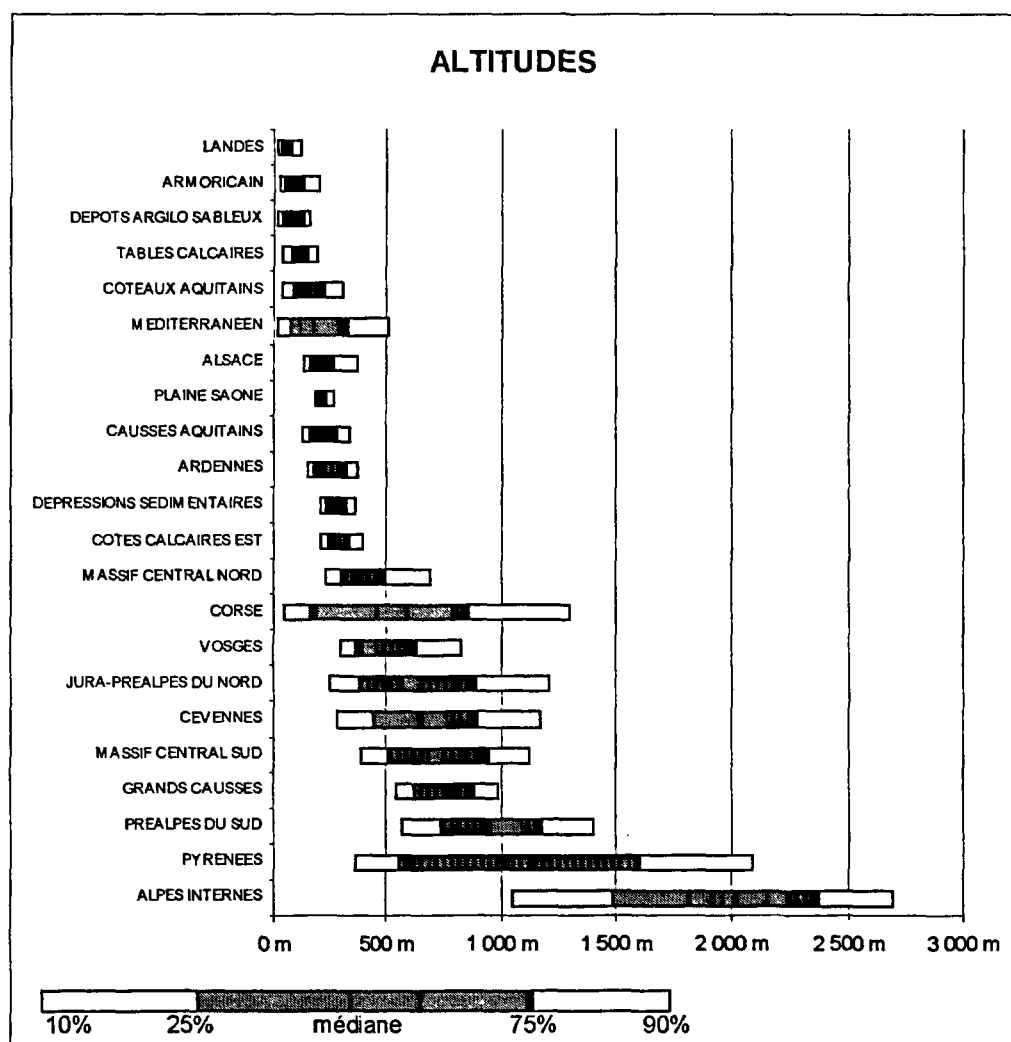


Figure 7.1- Représentatif de la distribution des valeurs d'altitudes par HER de niveau 1

HER 1	code HER 2	nom HER 2	"5 %"	"10 %"	"25 %"	"50 %"	"75 %"	"90 %"	"95 %"
1	23	Cf 96 Pyrénées étage montagnard	306 m	365 m	472 m	590 m	740 m	876 m	960 m
1	24	Pyrénées orientales	519 m	690 m	1073 m	1545 m	1961 m	2283 m	2429 m
1	67	Bordure Pyrénéenne Centrale	318 m	343 m	390 m	452 m	531 m	615 m	684 m
1	69	Bordure Pyrénéenne atlantique	96 m	121 m	172 m	236 m	322 m	421 m	486 m
1	94	Pyrénées étage alpin et subalpin occi	972 m	1140 m	1453 m	1795 m	2143 m	2403 m	2540 m
1	95	Pyrénées étage alpin et subalpin cent	1087 m	1234 m	1507 m	1795 m	2083 m	2309 m	2417 m
1	96	Pyrénées étage montagnard	432 m	485 m	640 m	889 m	1165 m	1410 m	1537 m
2	8	Massif du Mont Blanc	998 m	1122 m	1508 m	2075 m	2709 m	3253 m	3487 m
2	9	Massif Schisteux Maurienne Tarentaise	765 m	961 m	1398 m	1908 m	2306 m	2581 m	2746 m
2	10	Massif de la Vanoise	1555 m	1781 m	2159 m	2510 m	2806 m	3059 m	3202 m
2	12	Massif de l'Oisans	962 m	1183 m	1562 m	2028 m	2476 m	2841 m	3047 m
2	101	Massif Beaufortain Belledonne	422 m	561 m	943 m	1517 m	1966 m	2275 m	2418 m
2	107	Alpes Internes du Sud	971 m	1177 m	1523 m	1939 m	2305 m	2555 m	2680 m
3	43	MC-Dépressions internes	354 m	379 m	422 m	476 m	564 m	641 m	675 m
3	44	MC-Terres Granitiques orientales	401 m	435 m	491 m	571 m	654 m	719 m	752 m
3	47	MC-Dépressions du Puy	614 m	638 m	698 m	779 m	862 m	943 m	986 m
3	49	Hautes Terres Volcaniques orientales-	690 m	802 m	924 m	1061 m	1163 m	1241 m	1284 m
3	50	Hautes Terres Granitiques orientales	499 m	560 m	697 m	857 m	984 m	1080 m	1154 m
3	72	Montagne noire	229 m	264 m	384 m	575 m	736 m	835 m	886 m
3	86	Mont du Lyonnais - Pilat	280 m	317 m	391 m	496 m	619 m	754 m	848 m
3	90	Hautes Terres Granitiques - Margende	699 m	800 m	935 m	1050 m	1181 m	1275 m	1347 m
3	91	Hautes Terres Volcaniques humides	599 m	659 m	798 m	969 m	1121 m	1260 m	1338 m
3	93	MC versant occidental	282 m	334 m	437 m	546 m	645 m	780 m	869 m
4	63	Vosges granitiques	300 m	379 m	488 m	624 m	784 m	949 m	1040 m
4	74	Vosges gréseuses	256 m	280 m	325 m	386 m	459 m	553 m	621 m
5	2	Jura premier plateau	270 m	301 m	395 m	503 m	596 m	692 m	731 m
5	3	Jura nord	700 m	740 m	815 m	880 m	986 m	1105 m	1175 m
5	5	Jura sud	444 m	510 m	649 m	843 m	1037 m	1210 m	1282 m
5	6	Massif Chablais Giffre	611 m	713 m	930 m	1242 m	1582 m	1924 m	2165 m
5	11	Vercors nord	289 m	401 m	726 m	1039 m	1285 m	1503 m	1619 m
5	76	Piedmont Alpes Jura	229 m	267 m	341 m	463 m	587 m	742 m	846 m
5	79	Massifs Calcaires Chartreuse Aravis	221 m	280 m	531 m	959 m	1333 m	1604 m	1751 m
5	80	Vallée du Drac	297 m	392 m	663 m	825 m	968 m	1175 m	1325 m
5	85	Collines du Bas Dauphiné	170 m	190 m	222 m	297 m	417 m	520 m	577 m
6	56	Collines de Basse Provence	78 m	127 m	218 m	364 m	536 m	659 m	725 m
6	102	Plaine littorale méditerranéenne	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m
6	104	Garrigues sub cevenoles	120 m	140 m	174 m	233 m	297 m	362 m	408 m
6	105	Plaine méditerranéenne	4 m	10 m	40 m	90 m	175 m	299 m	383 m
6	108	Maures Esterel	10 m	22 m	58 m	120 m	223 m	330 m	405 m
6	112	Collines calcaires de basse provence	67 m	120 m	222 m	332 m	457 m	566 m	662 m
6	114	Corbières	323 m	363 m	435 m	534 m	646 m	738 m	794 m
6	116	Bordure Orientale des PyrUnUes	153 m	226 m	399 m	670 m	879 m	1040 m	1132 m
7	13	Devotuy Vercors sud	826 m	923 m	1117 m	1344 m	1597 m	1837 m	1999 m
7	14	Préalpes dromoises Baronnies	402 m	474 m	609 m	811 m	1004 m	1183 m	1286 m
7	15	Gapençais Embrunais	540 m	586 m	720 m	890 m	1128 m	1312 m	1403 m
7	16	Plateau calcaire de provence - Ventoux	556 m	599 m	706 m	851 m	1038 m	1219 m	1323 m
7	17	Plateaux calcaires de Provence	555 m	623 m	758 m	915 m	1089 m	1260 m	1360 m
7	106	Préalpes Digne Haute vallee du Var	535 m	664 m	844 m	1048 m	1264 m	1475 m	1600 m
8	70	Haute Loire Cevenole	918 m	1001 m	1109 m	1218 m	1320 m	1422 m	1487 m
8	71	Cévennes	255 m	320 m	447 m	637 m	864 m	1081 m	1207 m
8	103	Montagne Noire Climat cUvenol	147 m	183 m	293 m	494 m	747 m	904 m	974 m
8	115	Causses cUvenoles	323 m	382 m	540 m	651 m	727 m	770 m	795 m
9	30	Pays de Caen	9 m	19 m	35 m	57 m	80 m	116 m	152 m
9	32	Boulonnais	12 m	20 m	36 m	60 m	83 m	100 m	111 m
9	35	Pays de Bray	88 m	95 m	112 m	137 m	165 m	189 m	201 m
9	36	BP-Ile de France	43 m	56 m	82 m	116 m	152 m	185 m	208 m

Tableau 7.4 - Distribution des valeurs d'altitude par HER de niveau 2

HER 1	code HER 2	nom HER 2	"5 %"	"10 %"	"25 %"	"50 %"	"75 %"	"90 %"	"95 %"
9	37	Cotentin est	3 m	4 m	9 m	24 m	41 m	71 m	91 m
9	38	TC-auréole crétacé	57 m	72 m	104 m	129 m	152 m	186 m	210 m
9	40	Champagne humide	104 m	114 m	130 m	159 m	196 m	231 m	254 m
9	41	Tables calcaires Sud Loire	58 m	76 m	108 m	148 m	181 m	216 m	239 m
9	54	TC-Nord Loire-Perche	30 m	45 m	78 m	127 m	175 m	218 m	240 m
9	57	TC - Hte Normandie Picardie	15 m	42 m	80 m	113 m	144 m	169 m	186 m
9	97	TC - Charentes Poitou	5 m	6 m	28 m	73 m	124 m	146 m	159 m
10	1	Plateau calcaire haute Saône	220 m	230 m	243 m	264 m	289 m	314 m	328 m
10	25	Plateau lorrain	192 m	212 m	239 m	274 m	324 m	362 m	384 m
10	26	Bassin de Forbach	210 m	216 m	231 m	248 m	269 m	304 m	320 m
10	27	Plaine de Woivre	201 m	206 m	215 m	229 m	244 m	267 m	286 m
10	51	Bazois Auxois	211 m	224 m	252 m	303 m	400 m	483 m	516 m
10	53	BP-Côtes calcaires	180 m	200 m	237 m	284 m	337 m	387 m	414 m
10	75	Collines de Haute-Saône	220 m	233 m	259 m	299 m	358 m	402 m	428 m
10	82	Côtes de Macon	195 m	207 m	228 m	269 m	317 m	374 m	414 m
10	98	Collines sous-Vosgiennes	228 m	240 m	265 m	300 m	335 m	370 m	394 m
10	99	Côtes de Bourgogne	242 m	264 m	320 m	392 m	462 m	522 m	549 m
11	64	Collines Calcaires de Dordogne	95 m	116 m	149 m	188 m	230 m	273 m	301 m
11	65	Causses du Quercy	144 m	171 m	241 m	300 m	341 m	372 m	385 m
12	55	MA-nord est	26 m	47 m	99 m	142 m	196 m	242 m	272 m
12	58	MA-sud intérieur	4 m	7 m	26 m	61 m	107 m	170 m	192 m
12	59	MA-ouest	21 m	37 m	70 m	116 m	176 m	224 m	247 m
12	60	MA-est intérieur	21 m	33 m	53 m	76 m	98 m	124 m	158 m
13	21	Landes	11 m	18 m	32 m	58 m	84 m	118 m	134 m
14	66	Coteaux molassiques Nord Aquitaine	8 m	19 m	49 m	84 m	121 m	166 m	203 m
14	68	Coteaux molassiques Est Aquitaine	100 m	122 m	169 m	220 m	280 m	349 m	402 m
14	77	Coteaux molassiques bassin de l'Adour	21 m	40 m	85 m	142 m	237 m	341 m	401 m
14	78	Coteaux molassiques Centre Aquitaine	88 m	110 m	144 m	185 m	243 m	332 m	402 m
15	4	Forêt de Chaux	206 m	212 m	230 m	245 m	256 m	267 m	273 m
15	7	Dombes	233 m	241 m	258 m	276 m	285 m	295 m	302 m
15	81	Plaine de Bourgogne	179 m	183 m	190 m	204 m	222 m	239 m	249 m
15	84	Bresse	175 m	179 m	190 m	202 m	214 m	230 m	242 m
16	22	Corse	42 m	80 m	213 m	496 m	893 m	1324 m	1585 m
16	88	Corse plaine d'Aleria	2 m	4 m	15 m	32 m	61 m	92 m	114 m
17	45	Plaine du Forez	346 m	347 m	353 m	367 m	382 m	398 m	409 m
17	46	Limagne de l'Allier	286 m	297 m	313 m	328 m	350 m	372 m	387 m
17	52	Fossés tectoniques	197 m	206 m	226 m	251 m	282 m	314 m	331 m
18	61	Alsace-collines	156 m	164 m	180 m	202 m	231 m	272 m	309 m
18	62	Alsace- plaine	123 m	131 m	149 m	173 m	211 m	248 m	281 m
18	73	Collines du Sundgau	280 m	298 m	331 m	366 m	396 m	424 m	442 m
19	113	Grands causses	496 m	546 m	618 m	776 m	885 m	983 m	1044 m
20	28	Sologne-Forêt d'Orléans	87 m	92 m	101 m	113 m	130 m	145 m	153 m
20	31	Flandres intérieures	3 m	4 m	6 m	19 m	28 m	40 m	48 m
20	33	Douai-Condé	18 m	19 m	20 m	24 m	34 m	46 m	52 m
20	39	Thiérache	126 m	133 m	143 m	155 m	181 m	204 m	215 m
20	42	Epandages éluviaux	99 m	106 m	124 m	153 m	187 m	211 m	220 m
21	48	Montagne bourbonnaise	305 m	320 m	350 m	396 m	446 m	485 m	515 m
21	87	Morvan - Charollais	273 m	288 m	315 m	363 m	445 m	546 m	600 m
21	89	Hautes Terres Limousines	656 m	678 m	716 m	758 m	818 m	878 m	908 m
21	92	MC Plateau Limousin	194 m	219 m	270 m	355 m	442 m	559 m	620 m
22	34	Ardennes	136 m	149 m	180 m	226 m	321 m	371 m	400 m

Tableau 7.4 - Distribution des valeurs d'altitude par HER de niveau 2
(suite)

code HER 1	nom HER 1	"5 %"	"10 %"	"25 %"	"50 %"	"75 %"	"90 %"	"95 %"
1	PYRENEES	3.5 %	6.1 %	13.7 %	27.0 %	41.8 %	55.3 %	63.5 %
2	ALPES INTERNES	11.7 %	17.2 %	27.3 %	39.8 %	53.5 %	67.3 %	76.2 %
3	MASSIF CENTRAL SUD	1.8 %	2.7 %	4.8 %	8.3 %	13.9 %	20.8 %	25.7 %
4	VOSGES	1.6 %	2.5 %	5.1 %	10.7 %	19.6 %	28.6 %	33.9 %
5	JURA-PREALPES DU NORD	0.5 %	1.1 %	3.3 %	8.6 %	19.7 %	37.3 %	49.8 %
6	MEDITERRANEEN	0.0 %	0.3 %	1.5 %	4.5 %	10.1 %	18.0 %	24.1 %
7	PREALPES DU SUD	3.3 %	5.5 %	11.1 %	20.5 %	33.0 %	45.6 %	53.0 %
8	CEVENNES	2.9 %	4.5 %	8.5 %	15.5 %	24.4 %	32.4 %	37.4 %
9	TABLES CALCAIRES	0.2 %	0.4 %	0.8 %	1.6 %	3.0 %	5.2 %	7.0 %
10	COTES CALCAIRES EST	0.6 %	1.0 %	1.9 %	3.4 %	6.0 %	9.7 %	12.3 %
11	CAUSSES CALCAIRES	1.0 %	1.5 %	2.7 %	4.6 %	7.5 %	11.3 %	14.2 %
12	ARMORICAIN	0.3 %	0.6 %	1.1 %	2.1 %	3.4 %	5.3 %	6.8 %
13	LANDES	0.0 %	0.1 %	0.2 %	0.4 %	0.9 %	1.7 %	2.4 %
14	COTEAUX AQUITAINS	0.3 %	0.5 %	1.5 %	3.3 %	5.5 %	8.2 %	10.3 %
15	PLAINE SAONE	0.1 %	0.2 %	0.4 %	1.1 %	2.0 %	3.1 %	4.0 %
16	CORSE	2.1 %	4.2 %	11.0 %	22.0 %	34.0 %	45.7 %	52.9 %
17	DEPRESSIONS SEDIMENTAIRES	0.2 %	0.3 %	0.8 %	1.7 %	2.9 %	4.5 %	5.8 %
18	ALSACE	0.0 %	0.1 %	0.2 %	0.8 %	2.8 %	5.4 %	7.4 %
19	GRANDS CAUSSES	1.1 %	1.8 %	3.7 %	7.3 %	14.1 %	25.4 %	34.1 %
20	DEPOTS ARGILS SABLEUX	0.0 %	0.1 %	0.3 %	0.7 %	1.3 %	2.2 %	3.0 %
21	MASSIF CENTRAL NORD	1.0 %	1.5 %	2.5 %	4.1 %	6.5 %	9.8 %	12.5 %
22	ARDENNES	0.8 %	1.1 %	1.9 %	3.4 %	6.6 %	13.2 %	18.3 %

Tableau 7.5 - Distribution des valeurs de pente par HER de niveau 1

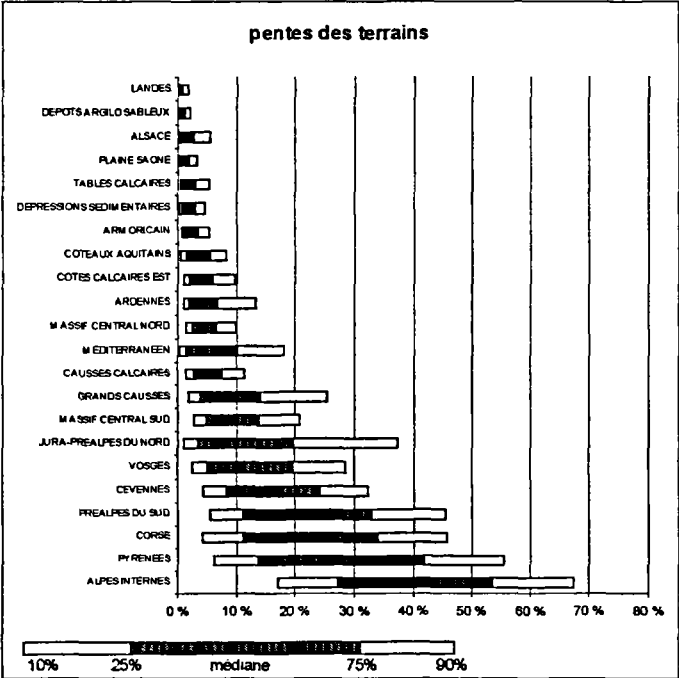


Figure 7.2 - Représentation de la distribution des valeurs de pente par HER de niveau 1

code HER1	code HER 2	nom HER 2	"5 %"	"10 %"	"25 %"	"50 %"	"75 %"	"90 %"	"95 %"
1	23	Cf 96 Pyrénées étage montagnard	8.5 %	11.6 %	18.8 %	28.0 %	37.6 %	45.5 %	50.7 %
1	24	Pyrénées orientales	5.4 %	8.5 %	15.6 %	26.3 %	38.2 %	48.4 %	54.0 %
1	67	Bordure Pyrénéenne Centrale	0.9 %	1.8 %	4.4 %	8.5 %	14.8 %	21.4 %	26.1 %
1	69	Bordure Pyrénéenne atlantique	2.0 %	3.1 %	5.9 %	11.3 %	19.9 %	28.6 %	33.6 %
1	94	Pyrénées étage alpin et subalpin occi	12.9 %	18.5 %	29.3 %	42.5 %	56.2 %	68.4 %	75.2 %
1	95	Pyrénées étage alpin et subalpin cent	12.9 %	18.2 %	28.7 %	41.8 %	55.5 %	67.5 %	74.1 %
1	96	Pyrénées étage montagnard	4.6 %	7.9 %	16.3 %	28.1 %	40.3 %	51.4 %	58.1 %
2	8	Massif du Mont Blanc	10.9 %	17.5 %	29.4 %	45.4 %	62.1 %	77.5 %	87.0 %
2	9	Massif Schisteux Maurienne	12.5 %	17.8 %	26.5 %	36.9 %	48.1 %	60.3 %	68.1 %
2	10	Massif de la Vanoise	11.6 %	16.5 %	27.0 %	40.9 %	55.0 %	68.0 %	76.4 %
2	12	Massif de l'Oisans	13.2 %	20.3 %	34.1 %	50.6 %	67.0 %	81.9 %	91.2 %
2	101	Massif Beaufortain Belledonne	9.6 %	15.1 %	25.7 %	38.1 %	50.5 %	62.7 %	70.1 %
2	107	Alpes Internes du Sud	12.0 %	17.0 %	26.4 %	37.7 %	49.7 %	61.3 %	68.5 %
3	43	MC-Dépressions internes	0.6 %	1.3 %	3.0 %	6.0 %	10.5 %	14.9 %	17.9 %
3	44	MC-Terres Granitiques orientales	2.4 %	3.4 %	5.8 %	9.0 %	13.0 %	17.2 %	20.1 %
3	47	MC+E85-Dépressions du Puy	2.1 %	3.4 %	6.4 %	10.6 %	15.7 %	21.0 %	24.8 %
3	49	Hautes Terres Volcaniques orientales-	1.9 %	2.6 %	4.3 %	7.4 %	12.1 %	17.3 %	21.0 %
3	50	Hautes Terres Granitiques orientales	2.2 %	3.2 %	5.4 %	9.0 %	14.3 %	20.1 %	23.7 %
3	72	Montagne noire	2.8 %	3.9 %	6.0 %	9.1 %	15.4 %	24.0 %	29.8 %
3	86	Mont du Lyonnais - Pilat	2.5 %	3.6 %	5.9 %	9.8 %	15.4 %	21.7 %	25.7 %
3	90	Hautes Terres Granitiques - Margeride	1.7 %	2.6 %	4.5 %	7.5 %	12.3 %	18.8 %	23.8 %
3	91	Hautes Terres Volcaniques humides	2.0 %	2.9 %	5.3 %	9.5 %	16.6 %	25.7 %	31.7 %
3	93	MC versant occidental	1.6 %	2.4 %	4.1 %	7.3 %	12.8 %	20.1 %	25.0 %
4	63	Vosges granitiques	3.0 %	5.0 %	9.7 %	17.2 %	25.6 %	33.2 %	37.6 %
4	74	Vosges gréseuses	1.3 %	1.9 %	3.6 %	6.8 %	12.5 %	19.8 %	25.5 %
5	2	Jura premier plateau	0.8 %	1.4 %	2.8 %	6.0 %	12.5 %	20.4 %	26.0 %
5	3	Jura nord	0.7 %	1.3 %	3.0 %	6.2 %	11.4 %	18.7 %	24.6 %
5	5	Jura sud	2.5 %	3.9 %	7.5 %	14.3 %	25.6 %	38.3 %	46.3 %
5	6	Massif Chablais Giffre	5.3 %	10.5 %	19.9 %	32.1 %	46.6 %	61.6 %	72.1 %
5	11	Vercors nord	3.4 %	5.6 %	11.0 %	21.4 %	36.8 %	53.3 %	63.7 %
5	76	Piedmont Alpes Jura	0.0 %	0.8 %	3.1 %	7.5 %	14.3 %	24.7 %	36.1 %
5	79	Massifs Calcaires Chartreuse Aravis	0.2 %	1.3 %	11.9 %	27.0 %	44.1 %	60.9 %	70.6 %
5	80	Vallée du Drac	1.6 %	4.1 %	9.0 %	17.3 %	29.4 %	45.7 %	55.3 %
5	85	Collines du Bas Dauphiné	0.3 %	0.5 %	1.3 %	3.8 %	7.9 %	12.5 %	15.8 %
6	56	Collines de Basses Provinces	0.6 %	1.1 %	2.9 %	6.2 %	11.4 %	17.5 %	22.0 %
6	102	Plaine littorale méditerranéenne	0.0 %	0.1 %	0.1 %	0.1 %	0.2 %	0.2 %	0.4 %
6	104	Garrigues sub cévenoles	0.5 %	1.3 %	3.0 %	6.2 %	11.7 %	18.9 %	24.3 %
6	105	Plaine méditerranéenne	0.0 %	0.2 %	0.7 %	2.5 %	6.1 %	11.7 %	16.5 %
6	108	Maures Esterel	0.6 %	1.3 %	3.3 %	8.2 %	15.8 %	23.4 %	27.9 %
6	112	Collines calcaires de basse provence	1.3 %	2.1 %	4.0 %	7.5 %	14.2 %	24.1 %	31.5 %
6	114	Corbières	3.5 %	5.1 %	8.6 %	13.8 %	20.5 %	29.1 %	35.2 %
6	116	Bordure Orientale des Pyrénées	7.2 %	9.6 %	15.2 %	23.2 %	31.9 %	39.5 %	43.8 %
7	13	Devoluy Vercors sud	7.4 %	11.2 %	19.9 %	31.8 %	45.4 %	57.9 %	66.1 %
7	14	Préalpes dromoises Baronnies	4.8 %	7.3 %	13.2 %	21.9 %	32.3 %	42.6 %	48.9 %
7	15	Gapençais Embrunais	2.0 %	3.5 %	7.6 %	14.5 %	24.0 %	35.0 %	43.0 %
7	16	Plateau calcaire de provence - Ventou	1.9 %	3.0 %	5.7 %	10.3 %	16.0 %	22.8 %	28.6 %
7	17	Plateaux calcaires de Provence	2.0 %	3.6 %	7.6 %	14.8 %	25.1 %	37.9 %	45.6 %
7	106	Préalpes Digne Haute vallée du Var	5.3 %	8.7 %	16.4 %	27.1 %	39.2 %	50.6 %	57.4 %
8	70	Haute Loire Cévenole	2.9 %	4.2 %	7.2 %	11.7 %	17.8 %	24.6 %	28.7 %
8	71	Cévennes	4.4 %	6.6 %	11.7 %	19.3 %	27.6 %	35.0 %	39.7 %
8	103	Montagne Noire Climat cévenol	2.5 %	3.7 %	6.8 %	12.4 %	20.4 %	28.9 %	34.1 %
8	115	Causses cévenoles	1.2 %	2.1 %	4.3 %	9.0 %	18.0 %	27.4 %	33.5 %

Tableau 7.6 - Distribution des valeurs de pente par HER de niveau 2

code HER1	code HER 2	nom HER 2	"5 %"	"10 %"	"25 %"	"50 %"	"75 %"	"90 %"	"95 %"
9	30	Pays de Caen	0.4 %	0.6 %	0.9 %	1.5 %	2.4 %	3.7 %	4.6 %
9	32	Boulonnais	0.9 %	1.3 %	2.1 %	3.3 %	5.1 %	7.2 %	8.8 %
9	35	Pays de Bray	0.7 %	1.0 %	1.8 %	3.0 %	4.5 %	6.3 %	7.6 %
9	36	BP-Ile de France	0.2 %	0.4 %	0.8 %	1.9 %	4.2 %	7.4 %	9.6 %
9	37	Cotentin est	0.0 %	0.2 %	0.6 %	1.3 %	2.3 %	3.7 %	4.6 %
9	38	TC-auréole crétacé	0.2 %	0.3 %	0.7 %	1.5 %	3.0 %	5.5 %	7.7 %
9	40	Champagne humide	0.2 %	0.4 %	0.9 %	2.0 %	3.6 %	5.5 %	7.0 %
9	41	Tables calcaires Sud Loire	0.2 %	0.4 %	0.8 %	1.4 %	2.5 %	4.1 %	5.2 %
9	54	TC-Nord Loire-Perche	0.2 %	0.4 %	0.7 %	1.5 %	2.9 %	5.1 %	6.7 %
9	57	TC - Hte Normandie Picardie	0.3 %	0.5 %	1.0 %	1.9 %	3.8 %	6.7 %	8.9 %
9	97	TC - Charentes Poitou	0.1 %	0.2 %	0.7 %	1.3 %	2.3 %	3.7 %	4.7 %
10	1	Plateau calcaire haute Saône	0.5 %	0.8 %	1.4 %	2.4 %	3.9 %	5.9 %	7.8 %
10	25	Plateau lorrain	0.5 %	0.9 %	1.6 %	2.8 %	4.6 %	7.4 %	9.5 %
10	26	Bassin de Forbach	0.8 %	1.1 %	2.0 %	3.7 %	7.8 %	11.6 %	13.6 %
10	27	Plaine de Woevre	0.2 %	0.4 %	0.7 %	1.3 %	2.2 %	3.6 %	5.1 %
10	51	Bazois Auxois	0.7 %	1.1 %	1.9 %	3.4 %	6.5 %	11.9 %	15.3 %
10	53	BP-Côtes calcaires	0.8 %	1.2 %	2.1 %	3.7 %	6.4 %	9.8 %	12.0 %
10	75	Collines de Haute-Saône	0.8 %	1.2 %	2.2 %	3.9 %	6.8 %	10.5 %	13.2 %
10	82	Côtes de Macon	1.3 %	1.9 %	3.4 %	6.1 %	10.3 %	14.5 %	17.0 %
10	98	Collines sous-Vosgiennes	0.5 %	0.9 %	1.8 %	3.2 %	5.8 %	9.7 %	12.1 %
10	99	Côtes de Bourgogne	1.4 %	2.0 %	3.6 %	6.1 %	10.1 %	14.7 %	17.7 %
11	64	Collines Calcaires de Dordogne	1.2 %	1.7 %	2.9 %	4.7 %	7.4 %	10.6 %	13.0 %
11	65	Causses du Quercy	0.7 %	1.2 %	2.3 %	4.3 %	7.8 %	12.9 %	16.7 %
12	55	MA-nord est	0.5 %	0.9 %	1.6 %	2.8 %	4.5 %	6.7 %	8.5 %
12	58	MA-sud intérieur	0.1 %	0.3 %	0.7 %	1.4 %	2.3 %	3.4 %	4.3 %
12	59	MA-ouest	0.6 %	0.9 %	1.7 %	2.9 %	4.7 %	6.8 %	8.4 %
12	60	MA-est intérieur	0.3 %	0.6 %	1.1 %	2.0 %	3.1 %	4.7 %	5.8 %
13	21	Landes	0.0 %	0.1 %	0.2 %	0.4 %	0.9 %	1.6 %	2.3 %
14	66	Coteaux molassiques Nord Aquitaine	0.2 %	0.4 %	1.3 %	2.8 %	4.7 %	7.0 %	8.9 %
14	68	Coteaux molassiques Est Aquitaine	0.3 %	0.5 %	1.5 %	3.6 %	6.2 %	9.2 %	11.8 %
14	77	Coteaux molassiques bassin de	0.3 %	0.5 %	1.3 %	3.3 %	6.1 %	9.4 %	11.7 %
14	78	Coteaux molassiques Centre Aquitain	0.4 %	0.7 %	2.0 %	3.6 %	5.6 %	7.7 %	9.2 %
15	4	Forêt de Chaux	0.2 %	0.4 %	0.7 %	1.3 %	2.4 %	4.0 %	5.1 %
15	7	Dombes	0.2 %	0.3 %	0.5 %	1.0 %	1.9 %	3.6 %	5.2 %
15	81	Plaine de Bourgogne	0.1 %	0.1 %	0.4 %	1.0 %	1.9 %	3.1 %	4.0 %
15	84	Bresse	0.0 %	0.2 %	0.5 %	1.2 %	2.0 %	2.9 %	3.7 %
16	22	Corse	4.0 %	6.5 %	13.2 %	23.4 %	34.9 %	46.4 %	53.5 %
16	88	Corse plaine d'Aleria	0.3 %	0.5 %	1.0 %	2.1 %	3.8 %	6.5 %	8.5 %
17	45	Plaine du Forez	0.0 %	0.1 %	0.4 %	1.0 %	2.0 %	3.5 %	4.6 %
17	46	Limagne de l'Allier	0.1 %	0.3 %	0.8 %	1.7 %	3.2 %	5.5 %	7.1 %
17	52	Fossés tectoniques	0.2 %	0.4 %	0.9 %	1.7 %	2.9 %	4.5 %	5.6 %
18	61	Alsace-collines	0.5 %	0.9 %	1.8 %	3.2 %	5.2 %	8.5 %	11.9 %
18	62	Alsace- plaine	0.0 %	0.1 %	0.2 %	0.2 %	0.6 %	1.8 %	2.9 %
18	73	Collines du Sundgau	0.5 %	0.8 %	1.4 %	2.7 %	4.7 %	6.8 %	8.3 %
19	113	Grands causses	1.1 %	1.8 %	3.7 %	7.3 %	14.1 %	25.4 %	34.1 %
20	28	Sologne-Forêt d'Orléans	0.1 %	0.2 %	0.4 %	0.7 %	1.1 %	1.7 %	2.1 %
20	31	Flandres intérieure	0.0 %	0.1 %	0.1 %	0.4 %	1.1 %	2.1 %	3.0 %
20	33	Douai-Condé	0.0 %	0.1 %	0.2 %	0.4 %	0.9 %	1.5 %	2.0 %
20	39	Thiérache	0.4 %	0.5 %	0.8 %	1.3 %	2.1 %	3.1 %	3.8 %
20	42	Epandages éluviaux	0.3 %	0.5 %	0.9 %	1.5 %	2.6 %	4.2 %	5.5 %
21	48	Montagne bouronnaise	1.5 %	2.0 %	3.3 %	5.1 %	7.2 %	9.9 %	12.0 %
21	87	Morvan - Charollais	1.1 %	1.6 %	2.9 %	5.1 %	8.2 %	12.4 %	15.3 %
21	89	Hautes Terres Limousines	1.1 %	1.7 %	3.0 %	5.0 %	8.0 %	12.0 %	15.1 %
21	92	MC Plateau Limousin	0.9 %	1.4 %	2.3 %	3.8 %	5.8 %	8.5 %	10.8 %
22	34	Ardennes	0.8 %	1.1 %	1.9 %	3.4 %	6.6 %	13.2 %	18.3 %

Tableau 7.6 - Distribution des valeurs de pente par HER de niveau 2 (suite)

Code HER1	nom HER 1	"5 %"	"10 %"	"25 %"	"50 %"	"75 %"	"90 %"	"95 %"
1	ALPES INTERNES	0.56 %	1.36 %	3.91 %	8.81 %	13.55 %	19.13 %	23.34 %
2	PYRENEES	0.30 %	0.53 %	1.33 %	3.96 %	8.87 %	13.72 %	16.29 %
3	CORSE	0.56 %	1.00 %	1.88 %	3.87 %	6.77 %	10.17 %	12.31 %
4	PREALPES DU SUD	0.03 %	0.54 %	1.19 %	2.61 %	4.79 %	7.75 %	9.62 %
5	CEVENNES	0.39 %	0.65 %	1.24 %	2.28 %	3.77 %	5.68 %	7.43 %
6	MASSIF CENTRAL SUD	0.04 %	0.35 %	0.96 %	1.93 %	3.21 %	4.57 %	5.67 %
7	GRANDS CAUSSES	0.00 %	0.04 %	0.53 %	1.52 %	3.44 %	5.39 %	8.32 %
8	VOSGES	0.13 %	0.27 %	0.59 %	1.22 %	2.36 %	3.93 %	5.13 %
9	JURA-PREALPES DU NORD	0.00 %	0.01 %	0.34 %	1.16 %	2.86 %	5.84 %	8.55 %
10	MASSIF CENTRAL NORD	0.00 %	0.15 %	0.43 %	0.84 %	1.40 %	2.09 %	2.60 %
11	MEDITERRANEEN	0.00 %	0.05 %	0.29 %	0.82 %	1.64 %	2.90 %	3.88 %
12	CAUSSES AQUITAINS	0.00 %	0.06 %	0.29 %	0.70 %	1.22 %	1.95 %	2.38 %
13	COTES CALCAIRES EST	0.00 %	0.07 %	0.19 %	0.44 %	0.86 %	1.36 %	1.82 %
14	COTEAUX AQUITAINS	0.00 %	0.07 %	0.20 %	0.43 %	0.73 %	1.11 %	1.44 %
15	ARMORICAIN	0.00 %	0.01 %	0.13 %	0.35 %	0.67 %	1.07 %	1.39 %
16	ARDENNES	0.00 %	0.02 %	0.11 %	0.33 %	0.89 %	2.74 %	3.64 %
17	TABLES CALCAIRES	0.00 %	0.04 %	0.13 %	0.31 %	0.60 %	0.98 %	1.28 %
18	DEPRESSIONS SEDIMENTAIRES	0.00 %	0.03 %	0.14 %	0.29 %	0.62 %	1.06 %	1.47 %
19	LANDES	0.00 %	0.06 %	0.16 %	0.25 %	0.40 %	0.58 %	0.76 %
20	ALSACE	0.05 %	0.07 %	0.11 %	0.20 %	0.44 %	0.87 %	1.49 %
21	PLAINE SAONE	0.00 %	0.01 %	0.07 %	0.17 %	0.34 %	0.65 %	0.87 %
22	DEPOTS ARGILO SABLEUX	0.00 %	0.01 %	0.06 %	0.17 %	0.30 %	0.51 %	0.66 %

Tableau 7.7 - Distribution des valeurs de pente de thalwegs par HER de niveau 1

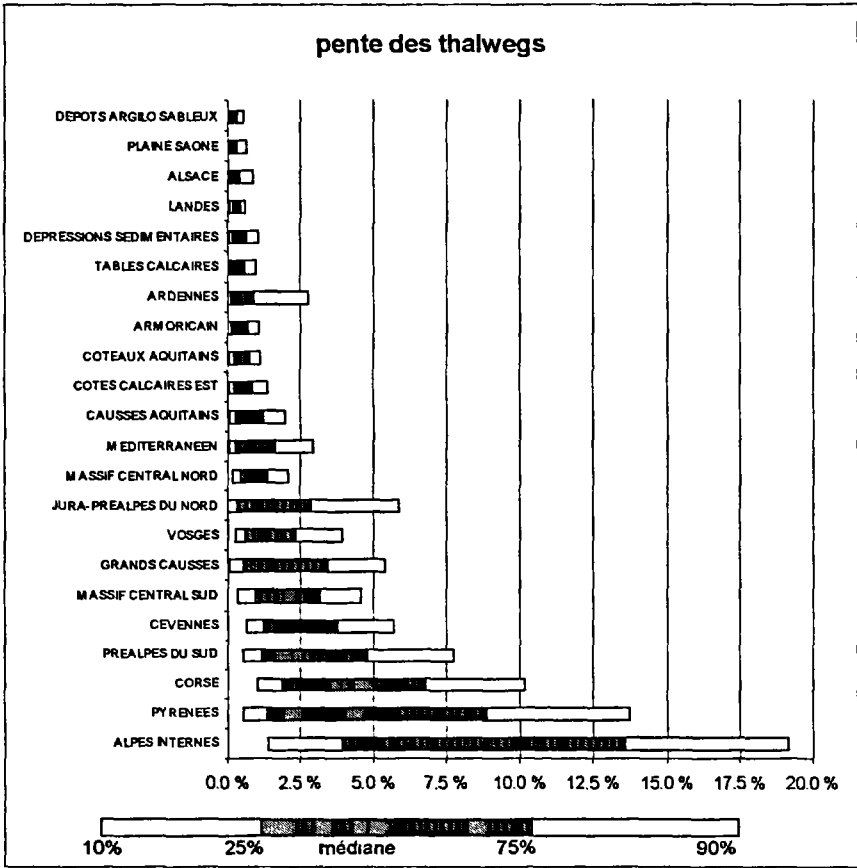


Figure 7.3 - Représentation de la distribution des valeurs de pente de thalwegs par HER de niveau 1

code HER1	code HER 2	nom HER 2	"5 %"	"10 %"	"25 %"	"50 %"	"75 %"	"90 %"	"95 %"
1	23	Cf 96 Pyrénées étage montagnard	0.07 %	1.73 %	2.18 %	2.74 %	4.47 %	5.20 %	6.24 %
1	24	Pyrénées orientales	1.35 %	2.01 %	4.10 %	6.60 %	10.78 %	13.45 %	15.40 %
1	67	Bordure Pyrénéenne Centrale	0.00 %	0.22 %	0.43 %	0.94 %	1.53 %	2.70 %	3.46 %
1	69	Bordure Pyrénéenne atlantique	0.07 %	0.31 %	0.51 %	0.80 %	1.41 %	2.62 %	3.75 %
1	94	Pyrénées étage alpin et subalpin	1.73 %	3.03 %	5.27 %	8.81 %	13.85 %	19.08 %	22.98 %
1	95	Pyrénées étage alpin et subalpin	3.36 %	4.63 %	7.37 %	11.14 %	14.75 %	18.99 %	24.06 %
1	96	Pyrénées étage montagnard	0.37 %	0.63 %	1.54 %	3.30 %	6.51 %	11.07 %	14.21 %
2	8	Massif du Mont Blanc	0.80 %	2.16 %	4.31 %	10.94 %	15.98 %	20.12 %	20.78 %
2	9	Massif Schisteux Maurienne	0.99 %	1.50 %	5.11 %	9.92 %	15.64 %	19.13 %	22.04 %
2	10	Massif de la Vanoise	0.59 %	1.55 %	4.98 %	9.23 %	16.75 %	22.28 %	26.71 %
2	12	Massif de l'Oisans	0.72 %	1.57 %	2.96 %	8.58 %	14.03 %	19.18 %	26.07 %
2	101	Massif Beaufortain Belledonne	0.34 %	0.48 %	3.82 %	9.79 %	13.18 %	18.19 %	23.34 %
2	107	Alpes Internes du Sud	0.70 %	1.41 %	4.05 %	8.30 %	11.85 %	16.76 %	21.51 %
3	43	MC-Dépressions internes	0.00 %	0.05 %	0.30 %	1.01 %	2.01 %	3.22 %	3.87 %
3	44	MC-Terres Granitiques orientales	0.36 %	0.53 %	1.27 %	2.71 %	3.36 %	4.14 %	4.30 %
3	47	MC+E85-Dépressions du Puy	0.00 %	0.18 %	0.91 %	1.94 %	2.81 %	3.58 %	4.42 %
3	49	Hautes Terres Volcaniques	0.62 %	0.87 %	1.75 %	2.88 %	3.98 %	4.73 %	6.39 %
3	50	Hautes Terres Granitiques	0.30 %	0.56 %	1.38 %	2.42 %	3.52 %	5.18 %	6.19 %
3	72	Montagne noire	1.39 %	1.66 %	2.37 %	2.83 %	4.06 %	5.93 %	8.66 %
3	86	Mont du Lyonnais - Pilat	0.32 %	0.61 %	1.09 %	1.80 %	2.80 %	4.50 %	5.25 %
3	90	Hautes Terres Granitiques -	0.03 %	0.33 %	0.95 %	1.82 %	3.19 %	4.36 %	5.23 %
3	91	Hautes Terres Volcaniques humides	0.41 %	0.78 %	1.74 %	2.63 %	4.07 %	5.55 %	6.39 %
3	93	MC versant occidental	0.00 %	0.14 %	0.55 %	1.42 %	2.57 %	3.91 %	5.47 %
4	63	Vosges granitiques	0.38 %	0.62 %	1.08 %	2.17 %	3.33 %	5.00 %	6.07 %
4	74	Vosges gréseuses	0.04 %	0.18 %	0.40 %	0.81 %	1.55 %	2.28 %	2.83 %
5	2	Jura premier plateau	0.00 %	0.05 %	0.18 %	0.81 %	1.80 %	3.37 %	4.88 %
5	3	Jura nord	0.00 %	0.02 %	0.38 %	1.19 %	2.25 %	3.58 %	4.38 %
5	5	Jura sud	0.21 %	0.44 %	1.20 %	2.87 %	5.83 %	8.37 %	10.45 %
5	6	Massif Chablais Giffre	0.20 %	0.34 %	1.76 %	3.43 %	7.88 %	15.95 %	17.45 %
5	11	Vercors nord	0.28 %	0.59 %	2.01 %	4.11 %	6.91 %	10.05 %	14.20 %
5	76	Piedmont Alpes Jura	0.00 %	0.01 %	0.05 %	0.77 %	2.15 %	3.76 %	4.61 %
5	79	Massifs Calcaires Chartreuse Aravis	0.00 %	0.04 %	0.43 %	2.76 %	6.13 %	10.33 %	13.01 %
5	80	Vallée du Drac	0.00 %	0.16 %	1.03 %	2.65 %	5.41 %	8.45 %	11.47 %
5	85	Collines du Bas Dauphiné	0.00 %	0.04 %	0.31 %	0.75 %	1.40 %	2.02 %	2.38 %
6	56	Collines de Basses Provinces	0.19 %	0.28 %	0.59 %	1.11 %	2.11 %	3.04 %	3.87 %
6	102	Plaine littorale méditerranéenne	0.00 %	0.01 %	0.02 %	0.03 %	0.04 %	0.06 %	0.14 %
6	104	Garrigues sub cévenoles	0.00 %	0.03 %	0.36 %	0.96 %	1.73 %	2.85 %	3.53 %
6	105	Plaine méditerranéenne	0.00 %	0.03 %	0.19 %	0.51 %	1.10 %	2.02 %	2.91 %
6	108	Maures Esterel	0.00 %	0.16 %	0.53 %	1.02 %	1.80 %	2.52 %	3.29 %
6	112	Collines calcaires de basse	0.03 %	0.31 %	0.88 %	1.57 %	2.40 %	4.44 %	5.82 %
6	114	Corbières	0.35 %	0.74 %	1.28 %	2.20 %	3.21 %	4.24 %	6.15 %
6	116	Bordure Orientale des Pyrénées	2.56 %	3.24 %	3.32 %	4.32 %	7.14 %	7.75 %	9.23 %
7	13	Devoluy Vercors sud	0.94 %	1.42 %	2.69 %	4.39 %	7.15 %	9.84 %	12.43 %
7	14	Préalpes dromoises Baronnies	0.33 %	0.71 %	1.16 %	2.45 %	3.70 %	5.22 %	6.74 %
7	15	Gapençais Embrunais	0.00 %	0.19 %	0.78 %	1.67 %	4.16 %	7.46 %	9.23 %
7	16	Plateau calcaire de provence -	0.51 %	1.11 %	2.20 %	3.06 %	5.01 %	7.24 %	8.43 %
7	17	Plateaux calcaires de Provence	0.00 %	0.61 %	1.25 %	3.01 %	5.07 %	10.01 %	11.32 %
7	106	Préalpes Digne Haute vallée du Var	0.00 %	0.37 %	1.10 %	2.74 %	5.49 %	8.69 %	10.59 %
8	70	Haute Loire Cevenole	0.79 %	1.22 %	1.69 %	2.63 %	4.66 %	8.04 %	9.65 %
8	71	Cévennes	0.48 %	0.77 %	1.31 %	2.63 %	4.03 %	5.65 %	7.15 %
8	103	Montagne Noire Climat cévenol	0.16 %	0.43 %	0.91 %	1.59 %	2.99 %	5.47 %	6.99 %
8	115	Causses cévenoles	0.18 %	0.63 %	1.36 %	1.78 %	2.95 %	5.96 %	9.46 %
9	30	Pays de Caen	0.00 %	0.05 %	0.22 %	0.40 %	0.73 %	0.97 %	1.13 %
9	32	Boulonnais	0.00 %	0.08 %	0.14 %	0.50 %	0.86 %	1.22 %	1.63 %
9	35	Pays de Bray	0.09 %	0.10 %	0.21 %	0.36 %	0.77 %	1.01 %	1.21 %
9	36	BP-Ile de France	0.00 %	0.02 %	0.13 %	0.34 %	0.74 %	1.23 %	1.62 %
9	37	Cotentin est	0.00 %	0.02 %	0.03 %	0.11 %	0.33 %	0.59 %	0.74 %
9	38	TC-auréole crétacé	0.00 %	0.04 %	0.13 %	0.27 %	0.56 %	0.95 %	1.29 %
9	40	Champagne humide	0.02 %	0.07 %	0.14 %	0.25 %	0.52 %	0.87 %	1.08 %
9	41	Tables calcaires Sud Loire	0.02 %	0.06 %	0.13 %	0.30 %	0.53 %	0.83 %	1.04 %
9	54	TC-Nord Loire-Perche	0.00 %	0.05 %	0.15 %	0.33 %	0.56 %	0.84 %	1.07 %
9	57	TC - Hte Normandie Picardie	0.00 %	0.09 %	0.26 %	0.57 %	0.96 %	1.44 %	1.83 %
9	97	TC - Charentes Poitou	0.00 %	0.01 %	0.07 %	0.22 %	0.42 %	0.69 %	0.90 %

Tableau 7. 8 - Distribution des valeurs de pente de thalwegs par HER de niveau 2

code HER1	code HER 2	nom HER 2	"5 %"	"10 %"	"25 %"	"50 %"	"75 %"	"90 %"	"95 %"
10	1	Plateau calcaire haute Saône	0.04 %	0.11 %	0.21 %	0.39 %	0.54 %	0.91 %	1.21 %
10	25	Plateau lorrain	0.00 %	0.03 %	0.12 %	0.28 %	0.58 %	1.02 %	1.30 %
10	26	Bassin de Forbach	0.03 %	0.04 %	0.20 %	0.33 %	0.58 %	0.66 %	0.85 %
10	27	Plaine de Woivre	0.00 %	0.04 %	0.10 %	0.21 %	0.37 %	0.63 %	0.93 %
10	51	Bazois Auxois	0.08 %	0.11 %	0.28 %	0.50 %	1.07 %	1.52 %	1.84 %
10	53	BP-Côtes calcaires	0.03 %	0.08 %	0.23 %	0.55 %	0.96 %	1.45 %	1.86 %
10	75	Collines de Haute-Saône	0.00 %	0.07 %	0.25 %	0.47 %	0.77 %	1.23 %	1.59 %
10	82	Côtes de Macon	0.18 %	0.35 %	0.50 %	0.94 %	1.39 %	1.73 %	2.14 %
10	98	Collines sous-Vosgiennes	0.02 %	0.06 %	0.16 %	0.37 %	0.66 %	1.25 %	1.43 %
10	99	Côtes de Bourgogne	0.16 %	0.26 %	0.44 %	0.89 %	1.67 %	2.35 %	2.64 %
11	64	Collines Calcaires de Dordogne	0.03 %	0.08 %	0.31 %	0.67 %	1.13 %	1.71 %	2.13 %
11	65	Causses du Quercy	0.00 %	0.02 %	0.24 %	0.71 %	1.55 %	2.33 %	2.86 %
12	55	MA-nord est	0.00 %	0.03 %	0.24 %	0.52 %	0.88 %	1.39 %	1.68 %
12	58	MA-sud intérieur	0.00 %	0.01 %	0.06 %	0.24 %	0.45 %	0.70 %	0.91 %
12	59	MA-ouest	0.00 %	0.08 %	0.28 %	0.59 %	0.97 %	1.35 %	1.66 %
12	60	MA-est intérieur	0.00 %	0.01 %	0.11 %	0.28 %	0.54 %	0.88 %	1.15 %
13	21	Landes	0.00 %	0.06 %	0.16 %	0.26 %	0.40 %	0.58 %	0.77 %
14	66	Coteaux molassiques Nord	0.00 %	0.04 %	0.15 %	0.34 %	0.61 %	0.91 %	1.10 %
14	68	Coteaux molassiques Est Aquitaine	0.00 %	0.09 %	0.23 %	0.50 %	0.88 %	1.46 %	2.10 %
14	77	Coteaux molassiques bassin de	0.02 %	0.10 %	0.27 %	0.44 %	0.75 %	1.12 %	1.41 %
14	78	Coteaux molassiques Centre	0.06 %	0.12 %	0.21 %	0.44 %	0.73 %	1.07 %	1.37 %
15	4	Forêt de Chaux	0.00 %	0.04 %	0.09 %	0.24 %	0.35 %	0.62 %	0.68 %
15	7	Dombes	0.00 %	0.07 %	0.21 %	0.38 %	0.65 %	0.90 %	1.48 %
15	81	Plaine de Bourgogne	0.00 %	0.01 %	0.07 %	0.15 %	0.33 %	0.59 %	0.89 %
15	84	Bresse	0.00 %	0.01 %	0.06 %	0.16 %	0.28 %	0.52 %	0.81 %
16	22	Corse	0.56 %	1.04 %	1.94 %	4.03 %	6.99 %	10.25 %	12.31 %
16	88	Corse plaine d'Aleria	0.57 %	0.69 %	1.57 %	2.04 %	2.60 %	3.82 %	4.48 %
17	45	Plaine du Forez	0.00 %	0.02 %	0.04 %	0.25 %	0.87 %	1.55 %	2.61 %
17	46	Limagne de l'Allier	0.00 %	0.04 %	0.15 %	0.38 %	0.80 %	1.62 %	2.71 %
17	52	Fossés tectoniques	0.00 %	0.05 %	0.14 %	0.28 %	0.53 %	0.92 %	1.19 %
18	61	Alsace-collines	0.09 %	0.14 %	0.18 %	0.30 %	0.51 %	1.00 %	1.58 %
18	62	Alsace- plaine	0.05 %	0.07 %	0.09 %	0.13 %	0.29 %	0.60 %	0.88 %
18	73	Collines du Sundgau	0.11 %	0.15 %	0.28 %	0.50 %	0.89 %	1.51 %	2.04 %
19	113	Grands causses	0.00 %	0.04 %	0.53 %	1.52 %	3.44 %	5.39 %	8.32 %
20	28	Sologne-Forêt d'Orléans	0.00 %	0.04 %	0.09 %	0.19 %	0.29 %	0.41 %	0.52 %
20	31	Flandres intérieure	0.00 %	0.01 %	0.02 %	0.06 %	0.17 %	0.30 %	0.49 %
20	33	Douai-Condé	0.00 %	0.01 %	0.02 %	0.04 %	0.11 %	0.22 %	0.25 %
20	39	Thiérache	0.00 %	0.04 %	0.15 %	0.46 %	0.58 %	0.73 %	0.81 %
20	42	Epandages éluviaux	0.03 %	0.08 %	0.16 %	0.34 %	0.60 %	0.99 %	1.28 %
21	48	Montagne bourbonnaise	0.48 %	0.59 %	0.86 %	0.97 %	1.50 %	1.88 %	2.80 %
21	87	Morvan - Charollais	0.07 %	0.16 %	0.37 %	0.76 %	1.25 %	2.09 %	2.47 %
21	89	Hautes Terres Limousines	0.09 %	0.30 %	0.63 %	1.11 %	1.86 %	2.77 %	3.18 %
21	92	MC Plateau Limousin	0.00 %	0.11 %	0.43 %	0.80 %	1.36 %	1.98 %	2.47 %
22	34	Ardenes	0.00 %	0.02 %	0.11 %	0.33 %	0.89 %	2.74 %	3.64 %

Tableau 7.8 - Distribution des valeurs de pente de thalwegs par HER de niveau 2
(Suite)

code HER 1	nom HER 1	"5 %"	"10 %"	"25 %"	"50 %"	"75 %"	"90 %"	"95 %"
1	PYRENEES	0.42	0.60	0.92	1.25	1.60	1.97	2.19
2	ALPES INTERNES	0.36	0.62	1.03	1.41	1.83	2.20	2.42
3	MASSIF CENTRAL SUD	0.37	0.53	0.78	1.06	1.33	1.58	1.73
4	VOSGES	0.41	0.51	0.72	0.98	1.26	1.52	1.68
5	JURA-PREALPES DU NORD	0.00	0.00	0.28	0.73	1.17	1.58	1.84
6	MEDITERRANEEN	0.28	0.50	0.90	1.35	1.80	2.22	2.51
7	PREALPES DU SUD	0.43	0.72	1.10	1.50	1.90	2.27	2.57
8	CEVENNES	0.64	0.83	1.15	1.41	1.67	1.94	2.10
9	TABLES CALCAIRES	0.00	0.00	0.05	0.49	0.90	1.30	1.57
10	COTES CALCAIRES EST	0.00	0.00	0.22	0.63	1.06	1.42	1.66
11	CAUSSES CALCAIRES	0.00	0.00	0.08	0.45	0.80	1.09	1.27
12	ARMORICAIN	0.29	0.43	0.65	0.92	1.19	1.44	1.60
13	LANDES	0.00	0.20	0.57	1.01	1.41	1.74	1.92
14	COTEAUX AQUITAINS	0.46	0.61	0.87	1.18	1.50	1.82	2.03
15	PLAINE SAONE	0.23	0.37	0.65	1.00	1.36	1.73	2.04
16	CORSE	0.79	0.94	1.19	1.49	1.77	2.04	2.24
17	DEPRESSIONS SEDIMENTAIRES	0.38	0.51	0.77	1.09	1.40	1.77	1.97
18	ALSACE	0.15	0.36	0.68	1.03	1.44	1.94	2.32
19	GRANDS CAUSSES	0.00	0.00	0.03	0.55	1.03	1.38	1.52
20	DEPOTS ARGILLO SABLEUX	0.20	0.37	0.64	0.98	1.36	1.81	2.18
21	MASSIF CENTRAL NORD	0.33	0.46	0.69	0.96	1.21	1.44	1.57
22	ARDENNES	0.42	0.56	0.73	0.97	1.17	1.39	1.57

Tableau 7.9 - Distribution des valeurs de densité du réseau hydrographique par HER de niveau 1 (en km/km²)

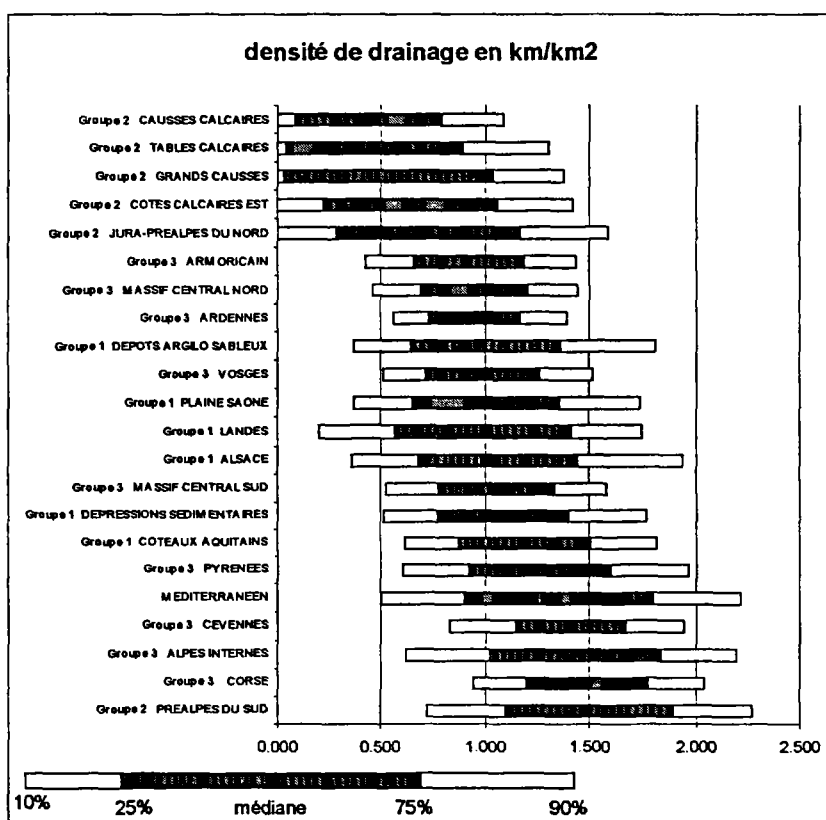


Figure 7.4 - Représentation de la distribution des valeurs de densité du réseau hydrographique par HER de niveau 1

code HER1	code HER 2	nom HER 2	"5 %"	"10 %"	"25 %"	"50 %"	"75 %"	"90 %"	"95 %"
1	23	Cf 96 Pyrénées étage montagnard	0.879	0.950	1.330	1.524	1.782	1.913	1.986
1	24	Pyrénées orientales	0.561	0.747	0.975	1.354	1.749	2.345	2.686
1	67	Bordure Pyrénéenne Centrale	0.483	0.630	0.947	1.269	1.578	1.896	2.110
1	69	Bordure Pyrénéenne atlantique	0.843	0.970	1.196	1.437	1.825	2.093	2.250
1	94	Pyrénées étage alpin et subalpin occi	0.501	0.730	0.998	1.390	1.779	2.097	2.288
1	95	Pyrénées étage alpin et subalpin cent	0.435	0.596	0.796	1.103	1.452	1.933	2.004
1	96	Pyrénées étage montagnard	0.285	0.473	0.797	1.129	1.456	1.774	1.923
2	8	Massif du Mont Blanc	0.000	0.050	0.595	1.266	1.739	2.049	2.427
2	9	Massif Schisteux Maurienne	0.539	0.666	1.051	1.443	2.001	2.397	2.589
2	10	Massif de la Vanoise	0.287	0.466	0.853	1.306	1.781	2.263	2.487
2	12	Massif de l'Oisans	0.187	0.416	0.919	1.405	1.875	2.175	2.374
2	101	Massif Beaufortain Belledonne	0.474	0.585	0.967	1.339	1.798	2.196	2.521
2	107	Alpes Internes du Sud	0.616	0.816	1.127	1.472	1.828	2.140	2.359
3	43	MC-Dépressions internes	0.135	0.251	0.552	0.829	1.183	1.470	1.656
3	44	MC-Terres Granitiques orientales	0.650	0.769	1.012	1.259	1.432	1.616	1.753
3	47	MC+E85-Dépressions du Puy	0.212	0.459	0.613	0.991	1.256	1.682	1.711
3	49	Hautes Terres Volcaniques orientales-	0.041	0.178	0.468	0.782	1.022	1.256	1.335
3	50	Hautes Terres Granitiques orientales	0.428	0.559	0.765	1.030	1.325	1.597	1.797
3	72	Montagne noire	0.738	0.895	1.086	1.320	1.502	1.796	1.953
3	86	Mont du Lyonnais - Pilat	0.249	0.364	0.622	0.919	1.232	1.477	1.634
3	90	Hautes Terres Granitiques - Margeride	0.405	0.544	0.732	1.011	1.234	1.499	1.597
3	91	Hautes Terres Volcaniques humides	0.355	0.494	0.725	0.995	1.280	1.562	1.755
3	93	MC versant occidental	0.579	0.698	0.932	1.176	1.416	1.629	1.770
4	63	Vosges granitiques	0.415	0.541	0.745	0.999	1.270	1.517	1.643
4	74	Vosges gréseuses	0.390	0.494	0.697	0.947	1.240	1.509	1.705
5	2	Jura premier plateau	0.000	0.001	0.020	0.404	0.788	1.101	1.290
5	3	Jura nord	0.000	0.009	0.021	0.122	0.538	0.936	1.068
5	5	Jura sud	0.000	0.002	0.224	0.519	0.871	1.182	1.347
5	6	Massif Chablais Giffre	0.334	0.587	0.832	1.136	1.447	1.668	1.900
5	11	Vercors nord	0.000	0.002	0.204	0.660	1.197	1.709	1.946
5	76	Piedmont Alpes Jura	0.103	0.291	0.603	0.989	1.394	1.823	2.134
5	79	Massifs Calcaires Chartreuse Aravis	0.271	0.467	0.773	1.190	1.614	1.972	2.253
5	80	Vallée du Drac	0.270	0.538	0.820	1.145	1.584	1.930	2.243
5	85	Collines du Bas Dauphiné	0.000	0.011	0.421	0.831	1.179	1.535	1.770
6	56	Collines de Basses Provinces	0.306	0.544	0.910	1.413	1.983	2.418	2.799
6	102	Plaine littorale méditerranéenne	0.000	0.016	0.218	0.609	0.939	1.566	1.972
6	104	Garrigues sub cevenoles	0.281	0.525	0.946	1.332	1.636	1.908	2.075
6	105	Plaine méditerranéenne	0.322	0.534	0.906	1.323	1.739	2.137	2.406
6	108	Maures Esterel	1.392	1.594	1.921	2.223	2.544	2.881	3.159
6	112	Collines calcaires de basse provence	0.355	0.502	0.843	1.236	1.729	2.035	2.257
6	114	Corbières	0.755	0.876	1.117	1.413	1.616	1.960	2.041
6	116	Bordure Orientale des Pyrénées	1.158	1.323	1.483	1.713	2.082	2.688	2.963
7	13	Devoluy Vercors sud	0.107	0.420	0.850	1.202	1.548	1.917	2.188
7	14	Préalpes dromoises Baronnies	0.761	0.910	1.166	1.476	1.809	2.195	2.396
7	15	Gapençais Embrunais	0.967	1.086	1.508	1.806	2.187	2.730	3.031
7	16	Plateau calcaire de provence - Ventou	0.048	0.150	0.589	1.063	1.430	1.805	1.976
7	17	Plateaux calcaires de Provence	0.037	0.251	0.557	0.928	1.331	1.821	2.041
7	106	Préalpes Digne Haute vallée du Var	0.996	1.127	1.395	1.713	2.068	2.415	2.701
8	70	Haute Loire Cevenole	0.730	0.835	1.144	1.307	1.581	1.815	1.949
8	71	Cévennes	0.810	0.970	1.204	1.465	1.696	1.944	2.102
8	103	Montagne Noire Climat cévenol	0.885	1.030	1.212	1.451	1.732	2.045	2.215
8	115	Causses cévenoles	0.000	0.013	0.148	0.779	1.292	1.483	1.715
9	30	Pays de Caen	0.000	0.021	0.033	0.189	0.612	1.021	1.255
9	32	Boulonnais	0.259	0.347	0.755	0.995	1.375	1.696	1.931
9	35	Pays de Bray	0.000	0.041	0.400	0.695	1.040	1.345	1.486
9	36	BP-Ile de France	0.000	0.001	0.235	0.558	0.884	1.192	1.423
9	37	Cotentin est	0.216	0.350	0.613	0.927	1.417	1.783	2.170
9	38	TC-auréole crétacé	0.000	0.001	0.002	0.299	0.698	1.116	1.406
9	40	Champagne humide	0.076	0.237	0.542	0.870	1.233	1.614	1.866
9	41	Tables calcaires Sud Loire	0.000	0.049	0.329	0.672	1.024	1.401	1.645
9	54	TC-Nord Loire-Perche	0.045	0.180	0.438	0.737	1.079	1.417	1.609
9	57	TC - Hte Normandie Picardie	0.000	0.001	0.002	0.003	0.468	0.938	1.258
9	97	TC - Charentes Poitou	0.000	0.004	0.032	0.434	0.837	1.295	1.626

Tableau 7. 10 - Distribution des valeurs de densité du réseau hydrographique par HER de niveau 2
(en km/km2)

code HER1	code HER 2	nom HER 2	"5 %"	"10 %"	"25 %"	"50 %"	"75 %"	"90 %"	"95 %"
10	1	Plateau calcaire haute Saône	0.000	0.001	0.006	0.250	0.626	0.974	1.206
10	25	Plateau lorrain	0.390	0.497	0.714	1.020	1.347	1.660	1.837
10	26	Bassin de Forbach	0.198	0.345	0.520	0.723	1.170	1.420	1.438
10	27	Plaine de Woëvre	0.154	0.475	0.807	1.090	1.360	1.661	1.822
10	51	Bazois Auxois	0.099	0.197	0.484	0.797	1.141	1.485	1.802
10	53	BP-Côtes calcaires	0.000	0.001	0.019	0.403	0.764	1.184	1.427
10	75	Collines de Haute-Saône	0.000	0.007	0.022	0.452	0.887	1.282	1.536
10	82	Côtes de Macon	0.000	0.059	0.171	0.418	0.816	1.054	1.645
10	98	Collines sous-Vosgiennes	0.180	0.302	0.519	0.841	1.205	1.530	1.782
10	99	Côtes de Bourgogne	0.000	0.001	0.030	0.324	0.686	1.048	1.296
11	64	Collines Calcaires de Dordogne	0.000	0.001	0.128	0.458	0.743	1.004	1.191
11	65	Causses du Quercy	0.000	0.002	0.007	0.432	0.906	1.210	1.403
12	55	MA-nord est	0.427	0.543	0.782	1.036	1.293	1.524	1.689
12	58	MA-sud intérieur	0.206	0.358	0.606	0.881	1.165	1.430	1.607
12	59	MA-ouest	0.288	0.428	0.662	0.922	1.178	1.403	1.570
12	60	MA-est intérieur	0.302	0.421	0.624	0.883	1.148	1.402	1.563
13	21	Landes	0.033	0.242	0.599	1.023	1.425	1.748	1.935
14	66	Coteaux molassiques Nord Aquitaine	0.277	0.431	0.665	0.945	1.273	1.610	1.851
14	68	Coteaux molassiques Est Aquitaine	0.669	0.863	1.103	1.363	1.618	1.879	2.060
14	77	Coteaux molassiques bassin de l'Adour	0.655	0.770	0.988	1.279	1.590	1.899	2.050
14	78	Coteaux molassiques Centre Aquitain	0.586	0.703	0.935	1.197	1.505	1.883	2.080
15	4	Forêt de Chaux	0.439	0.585	0.832	1.142	1.409	1.542	1.795
15	7	Dombes	0.125	0.270	0.537	0.823	1.165	1.480	1.685
15	81	Plaine de Bourgogne	0.187	0.347	0.632	1.020	1.487	1.955	2.278
15	84	Bresse	0.276	0.417	0.712	1.001	1.324	1.641	1.911
16	22	Corse	0.788	0.944	1.194	1.486	1.770	2.036	2.239
16	88	Corse plaine d'Aleria	0.666	0.925	1.134	1.666	2.141	2.455	2.930
17	45	Plaine du Forez	0.231	0.408	0.810	1.249	1.721	1.985	2.109
17	46	Limagne de l'Allier	0.206	0.370	0.543	0.997	1.357	1.733	1.989
17	52	Fossés tectoniques	0.454	0.554	0.799	1.087	1.378	1.691	1.922
18	61	Alsace-collines	0.392	0.470	0.724	0.972	1.344	1.632	2.270
18	62	Alsace- plaine	0.032	0.243	0.598	1.064	1.564	2.119	2.467
18	73	Collines du Sundgau	0.288	0.417	0.755	1.062	1.337	1.742	1.941
19	113	Grands causses	0.000	0.002	0.031	0.548	1.034	1.375	1.524
20	28	Sologne-Forêt d'Orléans	0.166	0.314	0.573	0.910	1.278	1.587	1.803
20	31	Flandres inteneure	0.278	0.462	0.703	1.117	1.597	2.268	2.586
20	33	Douai-Condé	0.368	0.494	0.808	1.325	2.058	2.572	3.036
20	39	Thiérache	0.534	0.695	0.974	1.352	1.788	2.494	3.082
20	42	Epandages éluviaux	0.220	0.452	0.697	0.953	1.211	1.419	1.519
21	48	Montagne bourbonnaise	0.700	0.804	0.975	1.135	1.409	1.572	1.745
21	87	Morvan - Charollais	0.318	0.447	0.676	0.965	1.239	1.478	1.609
21	89	Hautes Terres Limousines	0.276	0.370	0.612	0.892	1.142	1.360	1.535
21	92	MC Plateau Limousin	0.343	0.474	0.704	0.966	1.209	1.436	1.569
22	34	Ardenes	0.420	0.559	0.725	0.972	1.167	1.394	1.570

Tableau 7. 10 - Distribution des valeurs de densité du réseau hydrographique par HER de niveau 2
(en km/km²)
(Suite)

Climat

Une analyse de la distribution spatiale des valeurs de moyennes de précipitations annuelles, nombre moyen annuel de jours de pluie, écart saisonnier des précipitations, précipitations maximales sur 24 H de période de retour 10 ans, températures maximales du mois de juillet a également été effectuée par hydro-écorégion de niveau 1 et de niveau 2.

Les résultats, pour chacune de ces variables, figurent dans les tableaux ci après, accompagnés d'une représentation graphique de la distribution par HER-1.

code HER 1	nom HER 1	"5 %"	"10 %"	"25 %"	"50 %"	"75 %"	"90 %"	"95 %"
1	PYRENEES	774mm	881mm	1 044mm	1 261mm	1 484mm	1 670mm	1 760mm
2	ALPES INTERNES	743mm	815mm	953mm	1 135mm	1 352mm	1 574mm	1 774mm
3	MASSIF CENTRAL SUD	678mm	736mm	850mm	1 015mm	1 196mm	1 336mm	1 442mm
4	VOSGES	855mm	896mm	1 015mm	1 206mm	1 485mm	1 794mm	1 929mm
5	JURA-PREALPES DU NORD	838mm	917mm	1 070mm	1 277mm	1 503mm	1 712mm	1 858mm
6	MEDITERRANEEN	561mm	579mm	629mm	729mm	860mm	950mm	1 044mm
7	PREALPES DU SUD	781mm	805mm	867mm	931mm	998mm	1 076mm	1 145mm
8	CEVENNES	841mm	938mm	1 102mm	1 323mm	1 514mm	1 661mm	1 815mm
9	TABLES CALCAIRES	606mm	626mm	663mm	712mm	786mm	866mm	902mm
10	COTES CALCAIRES EST	735mm	759mm	812mm	876mm	942mm	1 023mm	1 055mm
11	CAUSSES AQUITAINS	806mm	822mm	843mm	878mm	912mm	941mm	959mm
12	ARMORICAIN	629mm	665mm	730mm	809mm	928mm	1 045mm	1 124mm
13	LANDES	836mm	861mm	911mm	954mm	1 051mm	1 167mm	1 207mm
14	COTEAUX AQUITAINS	660mm	687mm	747mm	809mm	900mm	1 137mm	1 257mm
15	PLAINE SAONE	713mm	730mm	776mm	857mm	951mm	1 011mm	1 050mm
16	CORSE	524mm	560mm	664mm	825mm	965mm	1 083mm	1 132mm
17	DEPRESSIONS SEDIMENTAIRES	578mm	616mm	719mm	779mm	823mm	857mm	872mm
18	ALSACE	504mm	551mm	644mm	768mm	842mm	947mm	1 011mm
19	GRANDS CAUSSES	763mm	810mm	879mm	955mm	1 049mm	1 123mm	1 231mm
20	DEPOTS ARGILO SABLEUX	622mm	634mm	653mm	681mm	716mm	793mm	841mm
21	MASSIF CENTRAL NORD	765mm	800mm	867mm	942mm	1 047mm	1 192mm	1 327mm
22	ARDENNES	821mm	840mm	870mm	934mm	1 071mm	1 151mm	1 181mm

Tableau 7. 11 - Distribution des précipitations annuelles moyennes par HER de niveau 1

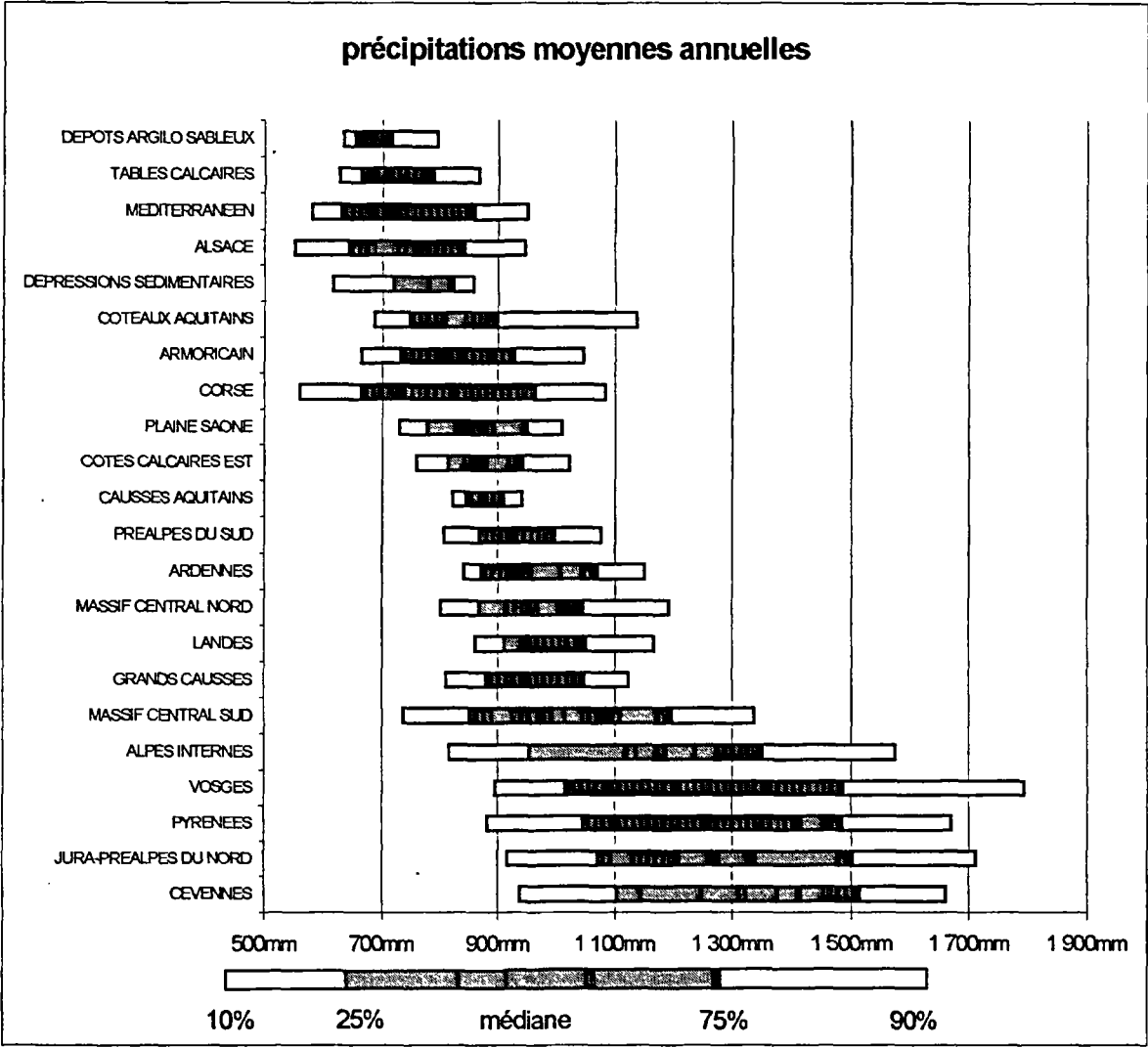


Figure 7. 5 - Représentation de la distribution des précipitations annuelles moyennes par HER de niveau 1

code HER1	code HER2	nom HER 2	"5 %"	"10 %"	"25 %"	"50 %"	"75 %"	"95 %"	"90 %"
1	23	Cf 96 Pyrénées étage montagnard	877 mm	952 mm	1093 mm	1219 mm	1516 mm	1818 mm	1722 mm
1	24	Pyrénées orientales	567 mm	599 mm	724 mm	942 mm	1105 mm	1363 mm	1289 mm
1	67	Bordure Pyrénéenne Centrale	874 mm	878 mm	933 mm	1008 mm	1061 mm	1109 mm	1101 mm
1	69	Bordure Pyrénéenne atlantique	1273 mm	1285 mm	1349 mm	1412 mm	1510 mm	1661 mm	1595 mm
1	94	Pyrénées étage alpin et subalpin occi	1114 mm	1171 mm	1291 mm	1436 mm	1625 mm	1850 mm	1748 mm
1	95	Pyrénées étage alpin et subalpin cent	1197 mm	1265 mm	1342 mm	1431 mm	1590 mm	1767 mm	1722 mm
1	96	Pyrénées étage montagnard	877 mm	952 mm	1093 mm	1219 mm	1516 mm	1818 mm	1722 mm
2	8	Massif du Mont Blanc	1224 mm	1299 mm	1364 mm	1638 mm	1961 mm	2448 mm	2435 mm
2	9	Massif Schisteux Maurienne Tarentaise	872 mm	890 mm	972 mm	1143 mm	1375 mm	1602 mm	1521 mm
2	10	Massif de la Vanoise	753 mm	817 mm	992 mm	1221 mm	1354 mm	1493 mm	1411 mm
2	12	Massif de l'Oisans	977 mm	997 mm	1098 mm	1248 mm	1380 mm	1500 mm	1460 mm
2	101	Massif Beaufortain Belledonne	1003 mm	1114 mm	1295 mm	1532 mm	1773 mm	2023 mm	1913 mm
2	107	Alpes Internes du Sud	695 mm	743 mm	852 mm	964 mm	1096 mm	1234 mm	1195 mm
3	43	MC-Dépressions internes	583 mm	586 mm	614 mm	643 mm	691 mm	844 mm	785 mm
3	44	MC-Terres Granitiques orientales	630 mm	690 mm	768 mm	851 mm	920 mm	1089 mm	1029 mm
3	47	MC-Dépressions du Puy	673 mm	678 mm	690 mm	716 mm	769 mm	848 mm	819 mm
3	49	Hautes Terres Volcaniques orientales-	589 mm	600 mm	717 mm	872 mm	994 mm	1136 mm	1101 mm
3	50	Hautes Terres Granitiques orientales	701 mm	738 mm	827 mm	961 mm	1105 mm	1283 mm	1236 mm
3	72	Montagne noire	816 mm	877 mm	907 mm	1119 mm	1265 mm	1365 mm	1334 mm
3	86	Mont du Lyonnais - Pilat	675 mm	700 mm	777 mm	871 mm	990 mm	1108 mm	1068 mm
3	90	Hautes Terres Granitiques - Margeride	718 mm	762 mm	824 mm	907 mm	1012 mm	1248 mm	1151 mm
3	91	Hautes Terres Volcaniques humides	759 mm	890 mm	1080 mm	1274 mm	1464 mm	1840 mm	1654 mm
3	93	MC versant occidental	826 mm	885 mm	991 mm	1109 mm	1229 mm	1390 mm	1329 mm
4	63	Vosges granitiques	788 mm	928 mm	1174 mm	1467 mm	1776 mm	2086 mm	1944 mm
4	74	Vosges gréseuses	868 mm	894 mm	946 mm	1111 mm	1240 mm	1487 mm	1388 mm
5	2	Jura premier plateau	1083 mm	1111 mm	1181 mm	1291 mm	1417 mm	1561 mm	1525 mm
5	3	Jura nord	1366 mm	1397 mm	1451 mm	1530 mm	1682 mm	1882 mm	1846 mm
5	5	Jura sud	1225 mm	1329 mm	1466 mm	1577 mm	1700 mm	1953 mm	1908 mm
5	6	Massif Chablais Giffre	1245 mm	1280 mm	1400 mm	1618 mm	1741 mm	1912 mm	1886 mm
5	11	Vercors nord	911 mm	962 mm	1131 mm	1263 mm	1370 mm	1482 mm	1421 mm
5	76	Piedmont Alpes Jura	996 mm	1022 mm	1073 mm	1156 mm	1245 mm	1400 mm	1362 mm
5	79	Massifs Calcaires Chartreuse Aravis	995 mm	1104 mm	1284 mm	1548 mm	1780 mm	1969 mm	1928 mm
5	80	Vallée du Drac	814 mm	815 mm	878 mm	950 mm	1027 mm	1158 mm	1046 mm
5	85	Collines du Bas Dauphiné	744 mm	796 mm	865 mm	943 mm	1031 mm	1116 mm	1097 mm
6	56	Collines de Basses Provinces	537 mm	551 mm	596 mm	665 mm	717 mm	779 mm	757 mm
6	102	Plaine littorale méditerranéenne	543 mm	554 mm	571 mm	588 mm	603 mm	649 mm	628 mm
6	104	Garrigues sub cévenoles	857 mm	881 mm	935 mm	1001 mm	1116 mm	1280 mm	1236 mm
6	105	Plaine méditerranéenne	564 mm	581 mm	619 mm	689 mm	781 mm	893 mm	858 mm
6	108	Maures Esterel	682 mm	714 mm	786 mm	839 mm	893 mm	935 mm	920 mm
6	112	Collines calcaires de Basse Provence	536 mm	583 mm	685 mm	795 mm	874 mm	941 mm	917 mm
6	114	Corbières	794 mm	828 mm	856 mm	887 mm	945 mm	983 mm	979 mm
6	116	Bordure Orientale des Pyrénées	794 mm	828 mm	856 mm	887 mm	945 mm	983 mm	979 mm
7	13	Devoluty Vercors sud	917 mm	919 mm	1008 mm	1059 mm	1129 mm	1209 mm	1168 mm
7	14	Préalpes dromoises Baronnies	799 mm	813 mm	861 mm	906 mm	961 mm	1043 mm	999 mm
7	15	Gapençais Embrunais	754 mm	770 mm	807 mm	867 mm	934 mm	1050 mm	998 mm
7	16	Plateau calcaire de provence - Ventou	800 mm	816 mm	878 mm	949 mm	988 mm	1067 mm	1044 mm
7	17	Plateaux calcaires de Provence	754 mm	866 mm	936 mm	997 mm	1137 mm	1206 mm	1164 mm
7	106	Préalpes Digne - Haute vallée du Var	793 mm	823 mm	875 mm	932 mm	992 mm	1096 mm	1064 mm
8	70	Haute Loire Cévenole	1002 mm	1100 mm	1189 mm	1368 mm	1553 mm	1829 mm	1707 mm
8	71	Cévennes	947 mm	1038 mm	1179 mm	1407 mm	1588 mm	1966 mm	1743 mm
8	103	Montagne Noire Climat cévenol	714 mm	726 mm	921 mm	1102 mm	1316 mm	1532 mm	1476 mm
8	115	Causses cévenoles	995 mm	1084 mm	1218 mm	1423 mm	1495 mm	1581 mm	1545 mm

Tableau 7. 12 - Distribution des précipitations annuelles moyennes par HER de niveau 2

code HER1	code HER2	nom HER 2	"5 %"	"10 %"	"25 %"	"50 %"	"75 %"	"95 %"	"90 %"
9	30	Pays de Caen	663 mm	671 mm	710 mm	746 mm	809 mm	895 mm	841 mm
9	32	Boulonnais	669 mm	684 mm	711 mm	767 mm	843 mm	975 mm	900 mm
9	35	Pays de Bray	698 mm	714 mm	764 mm	795 mm	869 mm	945 mm	926 mm
9	36	BP-Ile de France	607 mm	618 mm	646 mm	685 mm	714 mm	766 mm	740 mm
9	37	Cotentin est	745 mm	760 mm	803 mm	894 mm	928 mm	988 mm	967 mm
9	38	TC-auréole crétacé	589 mm	600 mm	630 mm	682 mm	723 mm	801 mm	766 mm
9	40	Champagne humide	670 mm	691 mm	720 mm	771 mm	885 mm	978 mm	953 mm
9	41	Tables calcaires Sud Loire	611 mm	641 mm	675 mm	709 mm	738 mm	804 mm	773 mm
9	54	TC-Nord Loire-Perche	605 mm	627 mm	651 mm	679 mm	740 mm	830 mm	794 mm
9	57	TC - Hte Normandie Picardie	629 mm	645 mm	684 mm	778 mm	858 mm	966 mm	927 mm
9	97	TC - Charentes Poitou	707 mm	734 mm	774 mm	822 mm	866 mm	911 mm	896 mm
10	1	Plateau calcaire haute Saône	713 mm	727 mm	810 mm	874 mm	898 mm	945 mm	912 mm
10	25	Plateau lorrain	712 mm	730 mm	768 mm	823 mm	893 mm	989 mm	948 mm
10	26	Bassin de Forbach	712 mm	730 mm	768 mm	823 mm	893 mm	989 mm	948 mm
10	27	Plaine de Woevre	750 mm	754 mm	781 mm	834 mm	892 mm	972 mm	942 mm
10	51	Bazois Auxois	731 mm	758 mm	808 mm	853 mm	896 mm	927 mm	915 mm
10	53	BP-Côtes calcaires	750 mm	780 mm	832 mm	900 mm	971 mm	1057 mm	1035 mm
10	75	Collines de Haute-Saône	901 mm	937 mm	981 mm	1043 mm	1094 mm	1154 mm	1141 mm
10	82	Côtes de Macon	812 mm	825 mm	860 mm	865 mm	894 mm	977 mm	922 mm
10	98	Collines sous-Vosgiennes	813 mm	827 mm	851 mm	901 mm	950 mm	1076 mm	1025 mm
10	99	Côtes de Bourgogne	767 mm	773 mm	801 mm	848 mm	883 mm	946 mm	919 mm
11	64	Collines Calcaires de Dordogne	807 mm	827 mm	846 mm	881 mm	912 mm	959 mm	939 mm
11	65	Causses du Quercy	794 mm	816 mm	834 mm	874 mm	911 mm	961 mm	946 mm
12	55	MA-nord est	719 mm	758 mm	808 mm	880 mm	982 mm	1136 mm	1076 mm
12	58	MA-sud intérieur	628 mm	664 mm	717 mm	784 mm	858 mm	967 mm	916 mm
12	59	MA-ouest	750 mm	805 mm	881 mm	982 mm	1078 mm	1218 mm	1180 mm
12	60	MA-est intérieur	603 mm	628 mm	682 mm	748 mm	812 mm	987 mm	936 mm
13	21	Landes	836 mm	859 mm	911 mm	953 mm	1050 mm	1207 mm	1168 mm
14	66	Coteaux molassiques Nord Aquitaine	710 mm	738 mm	772 mm	803 mm	846 mm	898 mm	872 mm
14	68	Coteaux molassiques Est Aquitaine	636 mm	668 mm	716 mm	768 mm	823 mm	937 mm	889 mm
14	77	Coteaux molassiques bassin de l'Adour	874 mm	896 mm	964 mm	1115 mm	1248 mm	1448 mm	1381 mm
14	78	Coteaux molassiques Centre Aquitaine	640 mm	655 mm	683 mm	736 mm	817 mm	963 mm	899 mm
15	4	Forêt de Chaux	901 mm	937 mm	981 mm	1043 mm	1094 mm	1154 mm	1141 mm
15	7	Dombes	808 mm	811 mm	859 mm	940 mm	991 mm	1068 mm	1051 mm
15	81	Plaine de Bourgogne	706 mm	716 mm	740 mm	781 mm	834 mm	909 mm	896 mm
15	84	Bresse	742 mm	763 mm	830 mm	916 mm	983 mm	1057 mm	1039 mm
16	22	Corse	519 mm	557 mm	650 mm	830 mm	981 mm	1149 mm	1094 mm
16	88	Corse plaine d'Aléria	678 mm	693 mm	770 mm	793 mm	849 mm	952 mm	940 mm
17	45	Plaine du Forez	490 mm	494 mm	539 mm	579 mm	622 mm	679 mm	650 mm
17	46	Limagne de l'Allier	602 mm	609 mm	657 mm	711 mm	777 mm	810 mm	789 mm
17	52	Fossés tectoniques	711 mm	727 mm	761 mm	801 mm	837 mm	886 mm	860 mm
18	61	Alsace-collines	594 mm	602 mm	676 mm	771 mm	819 mm	974 mm	962 mm
18	62	Alsace- plaine	462 mm	516 mm	593 mm	713 mm	786 mm	861 mm	818 mm
18	73	Collines du Sundgau	817 mm	825 mm	869 mm	932 mm	970 mm	1062 mm	1037 mm
19	113	Grands Causses	763 mm	810 mm	879 mm	955 mm	1049 mm	1231 mm	1123 mm
20	28	Sologne-Forêt d'Orléans	630 mm	639 mm	655 mm	678 mm	700 mm	726 mm	719 mm
20	31	Flandres intérieure	609 mm	620 mm	635 mm	653 mm	681 mm	759 mm	735 mm
20	33	Douai-Condé	617 mm	625 mm	663 mm	674 mm	696 mm	728 mm	727 mm
20	39	Thiérache	761 mm	762 mm	786 mm	819 mm	850 mm	883 mm	872 mm
20	42	Epandages éluviaux	688 mm	694 mm	728 mm	784 mm	843 mm	936 mm	906 mm
21	48	Montagne bourbonnaise	799 mm	802 mm	847 mm	895 mm	932 mm	1063 mm	1039 mm
21	87	Morvan - Charollais	813 mm	838 mm	885 mm	942 mm	1042 mm	1377 mm	1238 mm
21	89	Hautes Terres Limousines	930 mm	962 mm	1015 mm	1142 mm	1368 mm	1574 mm	1512 mm
21	92	MC Plateau Limousin	754 mm	784 mm	849 mm	926 mm	1022 mm	1176 mm	1108 mm
22	34	Ardennes	821 mm	840 mm	870 mm	934 mm	1071 mm	1181 mm	1151 mm

Tableau 7. 12 - Distribution des précipitations annuelles moyennes par HER de niveau 2
(Suite)

code HER 1	nom HER 1	"5 %"	"10 %"	"25 %"	"50 %"	"75 %"	"90 %"	"95 %"
1	PYRENEES	79	92	110	135	161	186	198
2	ALPES INTERNES	76	84	100	121	141	163	180
3	MASSIF CENTRAL SUD	67	73	88	108	129	145	157
4	VOSGES	83	87	100	122	153	186	202
5	JURA-PREALPES DU NORD	88	95	110	130	154	174	187
6	MEDITERRANEEN	61	64	70	81	96	108	117
7	PREALPES DU SUD	83	86	93	101	109	119	127
8	CEVENNES	93	102	119	146	168	187	201
9	TABLES CALCAIRES	61	64	68	73	82	91	97
10	COTES CALCAIRES EST	73	76	82	89	96	104	108
11	CAUSSES AQUITAINS	83	86	90	94	99	104	106
12	ARMORICAIN	67	71	78	87	100	115	124
13	LANDES	86	89	96	104	112	124	130
14	COTEAUX AQUITAINS	71	73	79	87	100	123	137
15	PLAINE SAONE	72	75	80	88	99	105	109
16	CORSE	67	71	83	98	120	142	152
17	DEPRESSIONS SEDIMENTAIRES	56	62	73	80	85	89	90
18	ALSACE	45	51	61	74	82	93	100
19	GRANDS CAUSSES	81	85	94	104	114	127	138
20	DEPOTS ARGILE SABLEUX	60	61	66	71	76	83	88
21	MASSIF CENTRAL NORD	77	81	89	99	112	127	141
22	ARDENNES	81	82	86	95	112	120	123

Tableau 7. 13 Distribution des valeurs de nombre moyen annuel de jours de pluie par HER de niveau 1

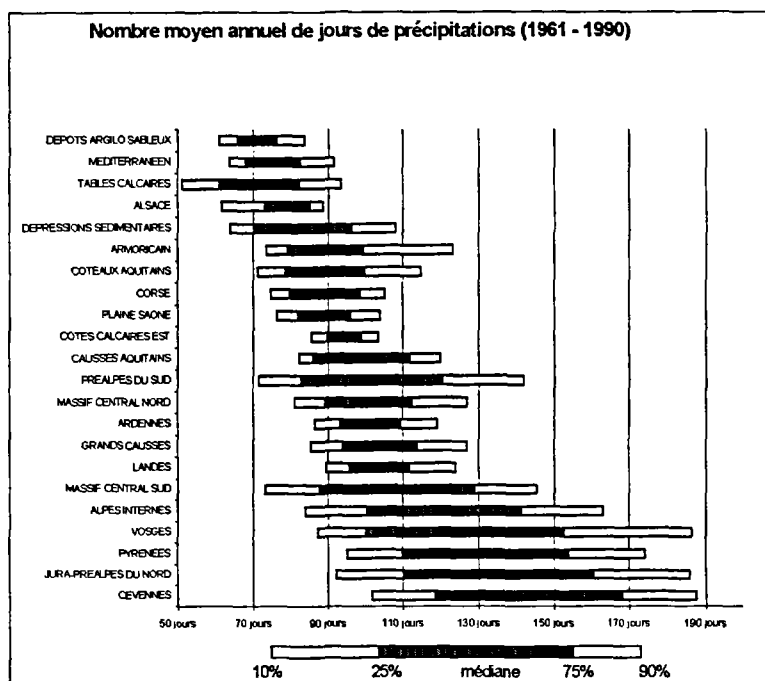


Figure 7. 6 - Représentation de la distribution des valeurs de nombre moyen annuel de jours de pluie par HER de niveau 1

code	code	nom HER 2	"5 %"	"10 %"	"25 %"	"50 %"	"75 %"	"90 %"	"95 %"
1	23	Cf 96 Pyrénées étage montagnard	158	160	162	165	169	171	173
1	24	Pyrénées orientales	54	58	73	91	110	127	134
1	67	Bordure Pyrénéenne Centrale	80	85	92	98	104	108	110
1	69	Bordure Pyrénéenne atlantique	126	128	132	140	150	158	163
1	94	Pyrénées étage alpin et subalpin occi	107	115	129	145	164	183	193
1	95	Pyrénées étage alpin et subalpin cent	118	122	130	143	158	172	178
1	96	Pyrénées étage montagnard	86	95	108	122	146	172	181
2	8	Massif du Mont Blanc	124	128	140	165	195	221	236
2	9	Massif Schisteux Maurienne Tarentaise	82	89	100	118	135	150	164
2	10	Massif de la Vanoise	71	84	104	123	137	150	157
2	12	Massif de l'Oisans	93	100	112	127	139	149	154
2	101	Massif Beaufortain Belledonne	107	114	132	156	177	193	200
2	107	Alpes Internes du Sud	69	74	85	100	113	124	131
3	43	MC-Dépressions internes	56	58	61	65	71	77	80
3	44	MC-Terres Granitiques orientales	71	76	83	90	99	109	114
3	47	MC-Dépressions du Puy	66	67	68	72	81	87	90
3	49	Hautes Terres Volcaniques orientales-	62	68	76	86	102	115	120
3	50	Hautes Terres Granitiques orientales	68	73	82	96	112	125	132
3	72	Montagne noire	81	87	96	111	124	132	136
3	86	Mont du Lyonnais - Pilat	67	70	77	87	97	109	116
3	90	Hautes Terres Granitiques - Margeride	65	70	80	90	101	112	120
3	91	Hautes Terres Volcaniques humides	74	84	107	127	147	169	185
3	93	MC versant occidental	84	90	100	113	125	135	141
4	63	Vosges granitiques	74	87	113	146	177	197	210
4	74	Vosges gréseuses	87	89	94	113	128	145	153
5	2	Jura premier plateau	110	113	120	130	144	155	159
5	3	Jura nord	132	138	145	152	168	183	190
5	5	Jura sud	134	140	148	159	175	193	200
5	6	Massif Chablais Giffre	119	127	144	164	178	190	197
5	11	Vercors nord	94	101	113	127	136	145	152
5	76	Piedmont Alpes Jura	97	101	108	117	127	138	144
5	79	Massifs Calcaires Chartreuse Aravis	96	107	132	157	179	192	201
5	80	Vallée du Drac	80	82	86	94	101	108	112
5	85	Collines du Bas Dauphiné	75	80	88	96	105	112	115
6	56	Collines de Basses Provinces	54	56	61	67	74	80	83
6	102	Plaine littorale méditerranéenne	54	56	58	60	62	64	65
6	104	Garrigues sub cévenoles	86	88	93	101	111	122	129
6	105	Plaine méditerranéenne	56	58	62	69	79	90	95
6	108	Maures Esterel	70	72	79	85	90	95	96
6	112	Collines calcaires de Basse Provence	56	60	69	81	90	95	99
6	114	Corbières	75	77	83	91	97	101	103
6	116	Bordure Orientale des Pyrénées	77	80	88	102	116	122	125
7	13	Devoluy Vercors sud	95	97	102	109	116	124	129
7	14	Préalpes dromoises Baronnies	80	82	87	92	97	102	105
7	15	Gapençais Embrunais	70	74	80	85	92	99	105
7	16	Plateau calcaire de provence - Ventou	80	84	90	96	102	106	109
7	17	Plateaux calcaires de Provence	81	89	95	101	115	123	127
7	106	Préalpes Digne - Haute vallée du Var	79	82	88	94	102	108	112
8	70	Haute Loire Cévenole	107	113	125	142	160	178	192
8	71	Cévennes	94	100	114	141	158	176	190
8	103	Montagne Noire Climat cévenol	72	77	91	108	131	149	156
8	115	Causses cévenoles	99	112	126	143	151	155	157

Tableau 7. 14 Distribution des valeurs de nombre moyen annuel de jours de pluie par HER de niveau 2

code HER1	code HER2	nom HER 2	"5 %"	"10 %"	"25 %"	"50 %"	"75 %"	"90 %"	"95 %"
9	30	Pays de Caen	65	67	70	73	78	81	84
9	32	Boulonnais	71	72	76	79	84	89	91
9	35	Pays de Bray	68	70	76	81	84	86	88
9	36	BP-Ile de France	61	63	65	69	73	76	78
9	37	Cotentin est	76	77	80	89	92	97	99
9	38	TC-auréole crétacé	59	60	64	69	74	79	82
9	40	Champagne humide	67	69	73	79	90	98	101
9	41	Tables calcaires Sud Loire	62	64	68	71	75	79	82
9	54	TC-Nord Loire-Perche	60	63	66	69	75	81	84
9	57	TC - Hte Normandie Picardie	62	65	69	79	88	95	99
9	97	TC - Charentes Poitou	68	71	78	83	88	92	93
10	1	Plateau calcaire haute Saône	74	75	84	89	92	94	96
10	25	Plateau lorrain	71	74	77	83	90	96	100
10	26	Bassin de Forbach	77	78	80	83	85	87	89
10	27	Plaine de Woivre	74	75	77	81	86	90	93
10	51	Bazois Auxois	73	76	81	86	91	94	96
10	53	BP-Côtes calcaires	75	78	84	91	98	104	107
10	75	Collines de Haute-Saône	90	94	100	105	110	114	116
10	82	Côtes de Macon	81	82	84	86	88	89	91
10	98	Collines sous-Vosgiennes	82	83	86	91	99	107	111
10	99	Côtes de Bourgogne	75	76	80	85	89	93	95
11	64	Collines Calcaires de Dordogne	79	81	85	89	93	98	100
11	65	Causses du Quercy	77	79	83	88	93	97	99
12	55	MA-nord est	72	76	82	89	98	108	114
12	58	MA-sud intérieur	62	67	73	79	86	93	97
12	59	MA-ouest	79	83	91	101	111	120	125
12	60	MA-est intérieur	62	64	69	75	82	93	98
13	21	Landes	80	84	90	98	105	116	122
14	66	Coteaux molassiques Nord Aquitaine	71	73	77	81	87	91	94
14	68	Coteaux molassiques Est Aquitaine	63	67	71	77	84	89	93
14	77	Coteaux molassiques bassin de l'Adour	87	89	96	111	124	139	147
14	78	Coteaux molassiques Centre Aquitaine	64	65	68	74	80	89	97
15	4	Forêt de Chaux	96	97	99	101	103	105	107
15	7	Dombes	83	85	88	95	101	107	110
15	81	Plaine de Bourgogne	70	72	74	79	84	91	93
15	84	Bresse	74	78	85	93	99	105	109
16	22	Corse	56	60	71	86	106	124	132
16	88	Corse plaine d'Aleria	68	69	70	73	77	82	85
17	45	Plaine du Forez	49	51	55	60	64	68	70
17	46	Limagne de l'Allier	60	62	67	73	79	82	85
17	52	Fossés tectoniques	70	72	76	81	85	88	90
18	61	Alsace-collines	55	60	66	74	81	86	90
18	62	Alsace- plaine	44	51	60	72	80	86	93
18	73	Collines du Sundgau	78	80	84	91	98	107	113
19	113	Grands Causses	75	79	88	96	106	118	128
20	28	Sologne-Forêt d'Orléans	62	64	66	69	71	73	74
20	31	Flandres intérieure	61	62	64	66	69	73	75
20	33	Douai-Condé	63	64	67	69	71	74	75
20	39	Thiérache	78	78	80	83	86	90	92
20	42	Épandages éluviaux	69	70	73	77	84	89	94
21	48	Montagne bourbonnaise	81	83	86	90	94	99	102
21	87	Morvan - Charollais	79	83	88	95	106	126	139
21	89	Hautes Terres Limousines	91	95	101	114	135	153	158
21	92	MC Plateau Limousin	72	76	84	93	104	114	120
22	34	Ardenes	82	84	87	96	110	117	120

Tableau 7. 14 Distribution des valeurs de nombre moyen annuel de jours de pluie par HER de niveau 2
(Suite)

code HER 1	nom HER 1	"5 %"	"10 %"	"25 %"	"50 %"	"75 %"	"90 %"	"95 %"
1	PYRENEES	0.440	0.472	0.527	0.619	0.783	0.890	0.947
2	ALPES INTERNES	0.295	0.335	0.405	0.507	0.632	0.694	0.745
3	MASSIF CENTRAL SUD	0.457	0.486	0.547	0.625	0.727	0.871	1.008
4	VOSGES	0.293	0.309	0.347	0.423	0.520	0.680	0.744
5	JURA-PREALPES DU NORD	0.250	0.269	0.318	0.382	0.461	0.546	0.615
6	MEDITERRANEEN	0.900	1.024	1.189	1.370	1.518	1.679	1.808
7	PREALPES DU SUD	0.566	0.614	0.689	0.783	0.883	1.022	1.123
8	CEVENNES	0.833	0.924	1.093	1.310	1.452	1.554	1.582
9	TABLES CALCAIRES	0.284	0.307	0.360	0.431	0.557	0.718	0.799
10	COTES CALCAIRES EST	0.288	0.313	0.359	0.418	0.472	0.506	0.527
11	CAUSSES AQUITAINS	0.457	0.470	0.494	0.535	0.600	0.645	0.672
12	ARMORICAIN	0.528	0.566	0.636	0.734	0.883	1.033	1.094
13	LANDES	0.530	0.543	0.581	0.699	0.779	0.881	0.934
14	COTEAUX AQUITAINS	0.465	0.485	0.544	0.617	0.667	0.718	0.757
15	PLAINE SAONE	0.339	0.362	0.401	0.448	0.499	0.543	0.566
16	CORSE	1.159	1.216	1.406	1.526	1.631	1.742	1.829
17	DEPRESSIONS SEDIMENTAIRES	0.533	0.561	0.611	0.706	0.927	1.169	1.265
18	ALSACE	0.320	0.340	0.404	0.548	0.684	0.830	1.071
19	GRANDS CAUSSES	0.563	0.577	0.618	0.671	0.769	0.907	1.025
20	DEPOTS ARGILE SABLEUX	0.318	0.363	0.413	0.451	0.496	0.635	0.691
21	MASSIF CENTRAL NORD	0.431	0.452	0.502	0.553	0.609	0.661	0.705
22	ARDENNES	0.348	0.370	0.392	0.448	0.521	0.553	0.588

Tableau 7. 15 - Distribution des valeurs de l'écart saisonnier par HER de niveau 1

Ecart saisonnier = ((Somme des précipitations de la saison max) - (somme des précipitations de la saison min))
(Moyenne des sommes de précipitations par saison)

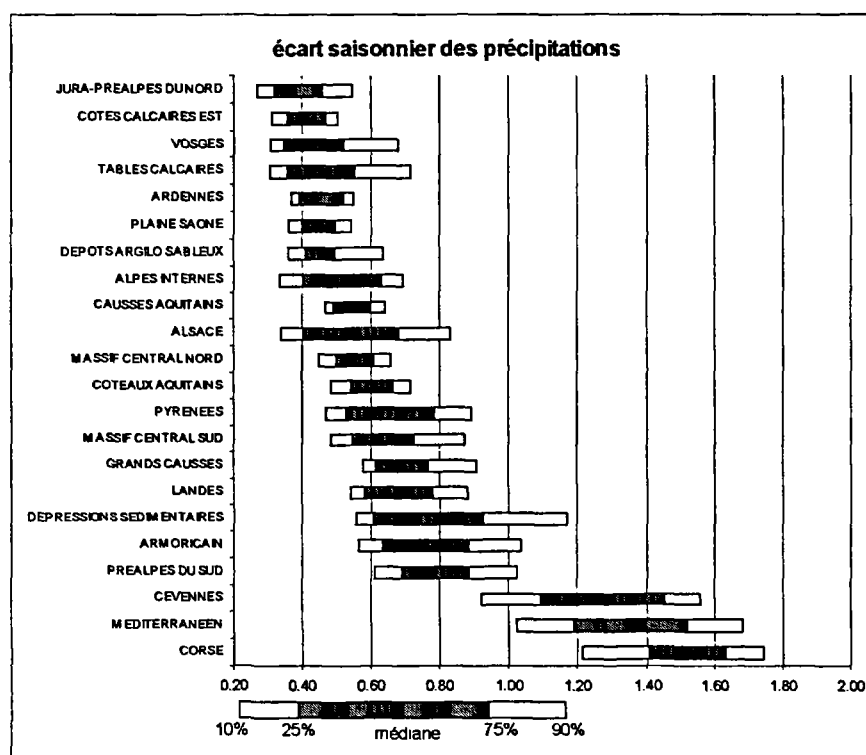


Figure 7. 7 - Représentation de la distribution des valeurs de l'écart saisonnier des précipitations par HER de niveau 1

code HER1	code HER2	nom HER 2	"5 %"	"10 %"	"25 %"	"50 %"	"75 %"	"90 %"	"95 %"
1	23	Cf 96 Pyrénées étage montagnard	0.605	0.616	0.688	0.805	0.846	0.880	0.900
1	24	Pyrénées orientales	0.376	0.463	0.613	0.738	0.857	0.982	1.025
1	67	Bordure Pyrénéenne Centrale	0.483	0.510	0.534	0.551	0.581	0.653	0.734
1	69	Bordure Pyrénéenne atlantique	0.605	0.616	0.688	0.805	0.846	0.880	0.900
1	94	Pyrénées étage alpin et subalpin occi	0.445	0.471	0.564	0.746	0.860	0.938	0.953
1	95	Pyrénées étage alpin et subalpin cent	0.446	0.447	0.466	0.492	0.540	0.601	0.652
1	96	Pyrénées étage montagnard	0.437	0.483	0.522	0.578	0.698	0.822	0.898
2	8	Massif du Mont Blanc	0.293	0.305	0.335	0.349	0.363	0.379	0.402
2	9	Massif Schisteux Maurienne Tarentaise	0.337	0.350	0.375	0.451	0.525	0.567	0.612
2	10	Massif de la Vanoise	0.290	0.317	0.392	0.472	0.520	0.597	0.647
2	12	Massif de l'Oisans	0.335	0.418	0.508	0.603	0.680	0.712	0.732
2	101	Massif Beaufortain Belledonne	0.195	0.219	0.295	0.356	0.411	0.492	0.519
2	107	Alpes Internes du Sud	0.412	0.436	0.498	0.594	0.673	0.749	0.941
3	43	MC-Dépressions internes	0.823	0.849	0.990	1.131	1.290	1.361	1.492
3	44	MC-Terres Granitiques orientales	0.653	0.699	0.739	0.868	0.973	1.162	1.320
3	47	MC-Dépressions du Puy	0.733	0.749	0.848	0.872	0.903	0.924	1.043
3	49	Hautes Terres Volcaniques orientales-	0.570	0.592	0.645	0.775	0.854	1.125	1.324
3	50	Hautes Terres Granitiques orientales	0.466	0.484	0.523	0.605	0.740	0.856	1.005
3	72	Montagne noire	0.723	0.744	0.779	0.849	0.888	0.900	0.911
3	86	Mont du Lyonnais - Pilat	0.420	0.440	0.485	0.626	0.758	0.967	1.021
3	90	Hautes Terres Granitiques - Margeride	0.459	0.477	0.528	0.632	0.720	0.803	0.890
3	91	Hautes Terres Volcaniques humides	0.428	0.455	0.519	0.581	0.666	0.742	0.798
3	93	MC versant occidental	0.507	0.526	0.566	0.611	0.671	0.727	0.773
4	63	Vosges granitiques	0.307	0.331	0.394	0.513	0.659	0.746	0.799
4	74	Vosges gréseuses	0.285	0.304	0.339	0.376	0.433	0.467	0.509
5	2	Jura premier plateau	0.242	0.260	0.297	0.352	0.396	0.440	0.461
5	3	Jura nord	0.285	0.291	0.315	0.358	0.385	0.408	0.426
5	5	Jura sud	0.333	0.366	0.401	0.450	0.497	0.543	0.562
5	6	Massif Chablais Giffre	0.261	0.270	0.288	0.327	0.378	0.469	0.478
5	11	Vercors nord	0.324	0.326	0.391	0.504	0.571	0.677	0.817
5	76	Piedmont Alpes Jura	0.241	0.252	0.271	0.328	0.419	0.509	0.569
5	79	Massifs Calcaires Chartreuse Aravis	0.196	0.228	0.267	0.306	0.372	0.438	0.458
5	80	Vallée du Drac	0.287	0.333	0.353	0.422	0.472	0.595	0.704
5	85	Collines du Bas Dauphiné	0.382	0.393	0.433	0.486	0.565	0.703	0.779
6	56	Collines de Basses Provinces	0.735	0.782	0.964	1.116	1.293	1.417	1.450
6	102	Plaine littorale méditerranéenne	1.648	1.683	1.848	1.928	2.046	2.108	2.123
6	104	Garrigues sub cevenoles	1.191	1.239	1.308	1.373	1.451	1.502	1.564
6	105	Plaine méditerranéenne	0.987	1.053	1.213	1.403	1.577	1.708	1.789
6	108	Maures Esterel	1.352	1.372	1.421	1.500	1.554	1.597	1.622
6	112	Collines calcaires de Basse Provence	1.066	1.096	1.213	1.335	1.437	1.546	1.606
6	114	Corbières	0.777	0.813	0.841	0.900	1.069	1.149	1.210
6	116	Bordure Orientale des Pyrénées	0.376	0.463	0.613	0.738	0.857	0.982	1.025
7	13	Devoluy Vercors sud	0.547	0.558	0.620	0.729	0.799	0.830	0.842
7	14	Préalpes dromoises Baronnies	0.596	0.613	0.655	0.775	0.838	0.896	0.973
7	15	Gapençais Embrunais	0.490	0.526	0.632	0.760	0.814	0.868	0.898
7	16	Plateau calcaire de provence - Ventou	0.730	0.768	0.818	0.888	0.969	1.011	1.052
7	17	Plateaux calcaires de Provence	0.875	0.922	0.978	1.085	1.148	1.250	1.277
7	106	Préalpes Digne - Haute vallée du Var	0.612	0.645	0.692	0.727	0.859	1.015	1.127
8	70	Haute Loire Cevenole	0.735	0.818	0.908	1.033	1.234	1.297	1.345
8	71	Cévennes	0.912	1.043	1.169	1.365	1.480	1.567	1.580
8	103	Montagne Noire Climat cévenol	0.838	0.901	1.038	1.270	1.452	1.583	1.636
8	115	Causses cévenoles	1.079	1.206	1.319	1.343	1.447	1.507	1.539

Tableau 7. 16 - Distribution des valeurs de l'écart saisonnier par HER de niveau 2

code HER1	code HER2	nom HER 2	"5 %"	"10 %"	"25 %"	"50 %"	"75 %"	"90 %"	"95 %"
9	30	Pays de Caen	0.662	0.667	0.688	0.712	0.751	0.771	0.777
9	32	Boulonnais	0.735	0.740	0.774	0.825	0.911	0.923	0.933
9	35	Pays de Bray	0.378	0.408	0.459	0.510	0.594	0.663	0.718
9	36	BP-Ile de France	0.257	0.273	0.293	0.316	0.350	0.387	0.409
9	37	Cotentin est	0.637	0.667	0.756	0.844	0.979	1.057	1.106
9	38	TC-auréole crétacé	0.260	0.277	0.305	0.348	0.391	0.433	0.463
9	40	Champagne humide	0.310	0.325	0.358	0.408	0.454	0.493	0.521
9	41	Tables calcaires Sud Loire	0.370	0.387	0.407	0.439	0.479	0.521	0.545
9	54	TC-Nord Loire-Perche	0.354	0.377	0.419	0.470	0.554	0.627	0.668
9	57	TC - Hte Normandie Picardie	0.322	0.343	0.405	0.546	0.698	0.808	0.869
9	97	TC - Charentes Poitou	0.489	0.519	0.590	0.680	0.766	0.824	0.845
10	1	Plateau calcaire haute Saône	0.305	0.307	0.338	0.396	0.441	0.468	0.492
10	25	Plateau lorrain	0.302	0.311	0.332	0.355	0.387	0.442	0.484
10	26	Bassin de Forbach	0.302	0.311	0.332	0.355	0.387	0.442	0.484
10	27	Plaine de Woevre	0.356	0.376	0.386	0.416	0.446	0.488	0.505
10	51	Bazois Auxois	0.380	0.406	0.458	0.498	0.535	0.575	0.591
10	53	BP-Côtes calcaires	0.337	0.376	0.408	0.450	0.484	0.508	0.524
10	75	Collines de Haute-Saône	0.250	0.254	0.269	0.295	0.338	0.389	0.408
10	82	Côtes de Macon	0.430	0.452	0.473	0.491	0.514	0.517	0.522
10	98	Collines sous-Vosgiennes	0.250	0.265	0.293	0.353	0.380	0.413	0.434
10	99	Côtes de Bourgogne	0.384	0.398	0.427	0.469	0.490	0.516	0.524
11	64	Collines Calcaires de Dordogne	0.455	0.469	0.490	0.527	0.571	0.629	0.640
11	65	Causses du Quercy	0.462	0.479	0.503	0.556	0.636	0.679	0.693
12	55	MA-nord est	0.538	0.566	0.609	0.673	0.758	0.887	1.121
12	58	MA-sud intérieur	0.509	0.551	0.665	0.731	0.792	0.833	0.852
12	59	MA-ouest	0.838	0.867	0.928	0.995	1.063	1.119	1.143
12	60	MA-est intérieur	0.518	0.556	0.615	0.686	0.828	0.948	0.993
13	21	Landes	0.530	0.540	0.580	0.698	0.781	0.881	0.933
14	66	Coteaux molassiques Nord Aquitaine	0.438	0.452	0.482	0.537	0.613	0.668	0.697
14	68	Coteaux molassiques Est Aquitaine	0.529	0.545	0.583	0.640	0.677	0.721	0.767
14	77	Coteaux molassiques bassin de l'Adour	0.527	0.551	0.605	0.637	0.684	0.810	0.866
14	78	Coteaux molassiques Centre Aquitaine	0.522	0.536	0.575	0.644	0.688	0.734	0.754
15	4	Forêt de Chaux	0.354	0.362	0.386	0.422	0.464	0.503	0.541
15	7	Dombes	0.415	0.416	0.441	0.468	0.501	0.556	0.579
15	81	Plaine de Bourgogne	0.290	0.335	0.422	0.486	0.525	0.558	0.570
15	84	Bresse	0.354	0.362	0.386	0.422	0.464	0.503	0.541
16	22	Corse	1.155	1.207	1.410	1.530	1.632	1.746	1.846
16	88	Corse plaine d'Aleria	1.296	1.333	1.379	1.469	1.555	1.689	1.697
17	45	Plaine du Forez	0.809	0.810	1.009	1.163	1.333	1.480	1.530
17	46	Limagne de l'Allier	0.874	0.895	0.963	1.050	1.215	1.266	1.370
17	52	Fossés tectoniques	0.527	0.553	0.587	0.647	0.735	0.877	0.908
18	61	Alsace-collines	0.309	0.320	0.348	0.409	0.561	0.877	0.963
18	62	Alsace- plaine	0.394	0.444	0.530	0.613	0.734	0.944	1.163
18	73	Collines du Sundgau	0.288	0.313	0.348	0.403	0.471	0.555	0.660
19	113	Grands Causses	0.563	0.577	0.618	0.671	0.769	0.907	1.025
20	28	Sologne-Forêt d'Orléans	0.289	0.324	0.395	0.434	0.457	0.473	0.479
20	31	Flandres intérieure	0.459	0.469	0.540	0.614	0.675	0.804	0.880
20	33	Douai-Condé	0.393	0.397	0.409	0.420	0.446	0.456	0.463
20	39	Thiérache	0.317	0.320	0.362	0.382	0.420	0.475	0.483
20	42	Epandages éluviaux	0.399	0.414	0.447	0.468	0.507	0.588	0.638
21	48	Montagne bourbonnaise	0.563	0.573	0.592	0.666	0.739	0.778	0.811
21	87	Morvan - Charollais	0.421	0.447	0.491	0.531	0.582	0.661	0.713
21	89	Hautes Terres Limousines	0.499	0.525	0.552	0.587	0.622	0.648	0.658
21	92	MC Plateau Limousin	0.430	0.447	0.495	0.552	0.609	0.661	0.702
22	34	Ardennes	0.348	0.370	0.392	0.448	0.521	0.553	0.588

Tableau 7. 16 - Distribution des valeurs de l'écart saisonnier par HER de niveau 2
(Suite)

code HER 1	nom HER 1	"5 %"	"10 %"	"25 %"	"50 %"	"75 %"	"90 %"	"95 %"
1	PYRENEES	66mm	68mm	74mm	81mm	91mm	110mm	135mm
2	ALPES INTERNES	60mm	63mm	69mm	77mm	87mm	104mm	120mm
3	MASSIF CENTRAL SUD	63mm	65mm	68mm	72mm	79mm	90mm	101mm
4	VOSGES	54mm	56mm	60mm	66mm	75mm	90mm	100mm
5	JURA-PREALPES DU NORD	61mm	66mm	74mm	80mm	86mm	92mm	96mm
6	MEDITERRANEEN	84mm	89mm	99mm	111mm	131mm	141mm	152mm
7	PREALPES DU SUD	74mm	77mm	80mm	88mm	100mm	112mm	121mm
8	CEVENNES	119mm	126mm	142mm	167mm	193mm	210mm	221mm
9	TABLES CALCAIRES	42mm	43mm	45mm	47mm	50mm	53mm	55mm
10	COTES CALCAIRES EST	46mm	47mm	50mm	53mm	57mm	60mm	62mm
11	CAUSSES AQUITAINS	55mm	58mm	61mm	64mm	68mm	71mm	73mm
12	ARMORICAIN	43mm	44mm	46mm	50mm	54mm	57mm	60mm
13	LANDES	54mm	56mm	59mm	63mm	69mm	75mm	77mm
14	COTEAUX AQUITAINS	54mm	56mm	58mm	61mm	67mm	73mm	80mm
15	PLAINE SAONE	55mm	58mm	62mm	66mm	69mm	73mm	76mm
16	CORSE	68mm	77mm	90mm	111mm	137mm	162mm	174mm
17	DEPRESSIONS SEDIMENTAIRES	52mm	53mm	57mm	60mm	64mm	67mm	68mm
18	ALSACE	43mm	45mm	48mm	51mm	55mm	61mm	65mm
19	GRANDES CAUSSES	73mm	74mm	81mm	86mm	100mm	123mm	138mm
20	DEPOTS ARGILO SABLEUX	42mm	43mm	45mm	46mm	48mm	51mm	53mm
21	MASSIF CENTRAL NORD	54mm	55mm	58mm	61mm	66mm	71mm	74mm
22	ARDENNES	40mm	43mm	45mm	49mm	53mm	56mm	58mm

Tableau 7. 17 - Distribution des valeurs de précipitations sur 24 H à la fréquence décennale par HER de niveau 1

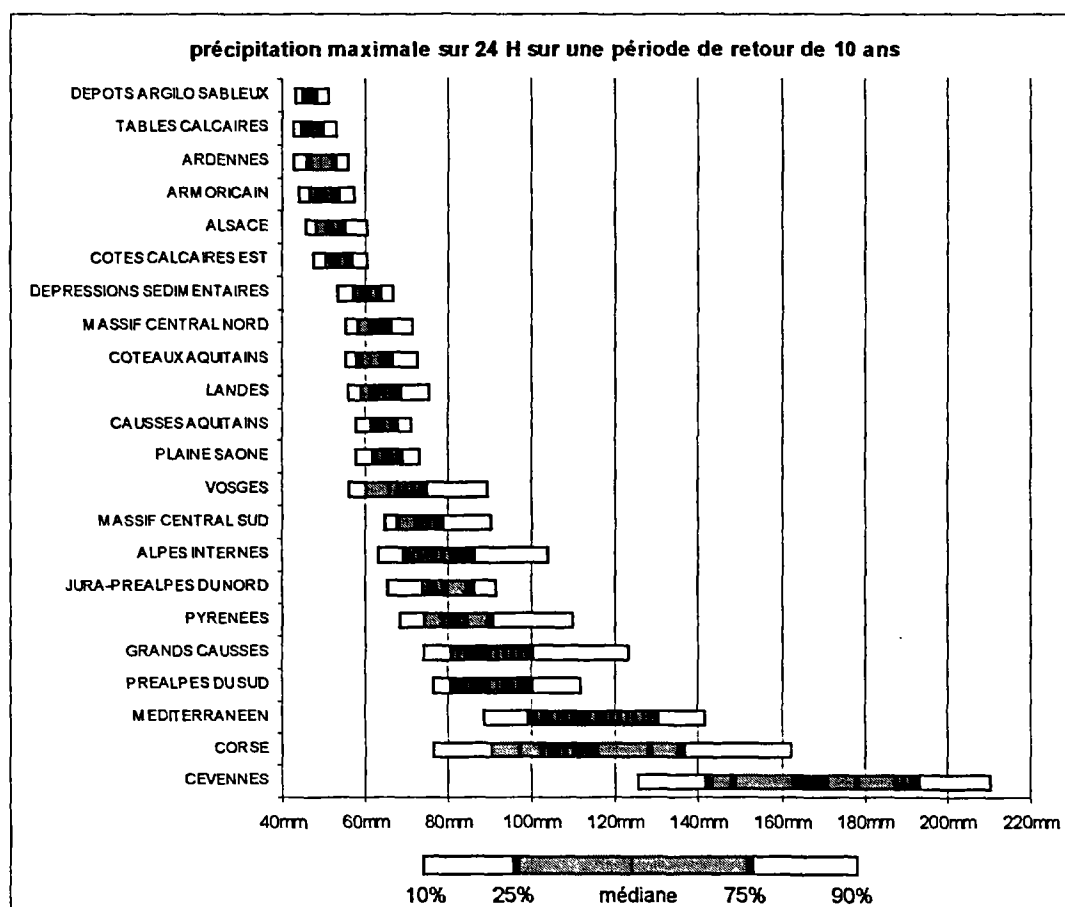


Figure 7. 8 - Représentation de la distribution des valeurs de précipitations sur 24 h de période de retour 10 ans par HER de niveau 1

code HER1	code HER2	nom HER 2	"5 %"	"10 %"	"25 %"	"50 %"	"75 %"	"90 %"	"95 %"
1	23	Cf 96 Pyrénées étage montagnard	96 mm	99 mm	100 mm	102 mm	104 mm	106 mm	107 mm
1	24	Pyrénées orientales	69 mm	73 mm	82 mm	115 mm	142 mm	155 mm	162 mm
1	67	Bordure Pyrénéenne Centrale	65 mm	67 mm	68 mm	70 mm	75 mm	85 mm	89 mm
1	69	Bordure Pyrénéenne atlantique	65 mm	66 mm	71 mm	82 mm	92 mm	99 mm	102 mm
1	94	Pyrénées étage alpin et subalpin	65 mm	69 mm	78 mm	84 mm	91 mm	100 mm	109 mm
1	95	Pyrénées étage alpin et subalpin	75 mm	78 mm	83 mm	86 mm	91 mm	96 mm	101 mm
1	96	Pyrénées étage montagnard	67 mm	70 mm	74 mm	79 mm	84 mm	92 mm	100 mm
2	8	Massif du Mont Blanc	73 mm	73 mm	75 mm	77 mm	83 mm	91 mm	94 mm
2	9	Massif Schisteux Maurienne	56 mm	57 mm	60 mm	63 mm	69 mm	74 mm	77 mm
2	10	Massif de la Vanoise	61 mm	62 mm	67 mm	76 mm	85 mm	91 mm	94 mm
2	12	Massif de l'Oisans	68 mm	70 mm	74 mm	79 mm	84 mm	88 mm	91 mm
2	101	Massif Beaufortain Belledonne	69 mm	71 mm	74 mm	78 mm	82 mm	85 mm	88 mm
2	107	Alpes Internes du Sud	63 mm	65 mm	69 mm	82 mm	103 mm	123 mm	128 mm
3	43	MC-Dépressions internes	60 mm	61 mm	63 mm	65 mm	68 mm	70 mm	72 mm
3	44	MC-Terres Granitiques orientales	62 mm	63 mm	64 mm	67 mm	69 mm	72 mm	73 mm
3	47	MC-Dépressions du Puy	66 mm	66 mm	67 mm	69 mm	73 mm	78 mm	82 mm
3	49	Hautes Terres Volcaniques	67 mm	68 mm	71 mm	77 mm	95 mm	117 mm	128 mm
3	50	Hautes Terres Granitiques	65 mm	66 mm	68 mm	70 mm	73 mm	83 mm	91 mm
3	72	Montagne noire	81 mm	83 mm	88 mm	96 mm	105 mm	113 mm	118 mm
3	86	Mont du Lyonnais - Pilat	61 mm	63 mm	66 mm	69 mm	72 mm	90 mm	101 mm
3	90	Hautes Terres Granitiques -	68 mm	70 mm	73 mm	78 mm	82 mm	93 mm	108 mm
3	91	Hautes Terres Volcaniques	66 mm	67 mm	71 mm	76 mm	82 mm	91 mm	97 mm
3	93	MC versant occidental	62 mm	64 mm	67 mm	72 mm	78 mm	87 mm	97 mm
4	63	Vosges granitiques	55 mm	59 mm	66 mm	73 mm	86 mm	100 mm	110 mm
4	74	Vosges gréseuses	53 mm	55 mm	58 mm	62 mm	66 mm	73 mm	77 mm
5	2	Jura premier plateau	58 mm	59 mm	61 mm	71 mm	80 mm	85 mm	86 mm
5	3	Jura nord	64 mm	67 mm	69 mm	74 mm	86 mm	90 mm	92 mm
5	5	Jura sud	80 mm	82 mm	85 mm	88 mm	92 mm	99 mm	102 mm
5	6	Massif Chablais Giffre	71 mm	73 mm	76 mm	80 mm	86 mm	91 mm	94 mm
5	11	Vercors nord	78 mm	81 mm	85 mm	89 mm	93 mm	95 mm	97 mm
5	76	Piedmont Alpes Jura	68 mm	70 mm	73 mm	77 mm	80 mm	85 mm	91 mm
5	79	Massifs Calcaires Chartreuse	73 mm	74 mm	77 mm	82 mm	87 mm	98 mm	107 mm
5	80	Vallée du Drac	63 mm	64 mm	68 mm	73 mm	77 mm	82 mm	87 mm
5	85	Collines du Bas Dauphiné	73 mm	76 mm	79 mm	81 mm	86 mm	94 mm	99 mm
6	56	Collines de Basses Provinces	75 mm	78 mm	83 mm	90 mm	95 mm	99 mm	101 mm
6	102	Plaine littorale méditerranéenne	98 mm	100 mm	103 mm	106 mm	107 mm	116 mm	120 mm
6	104	Garrigues sub cévenoles	126 mm	128 mm	132 mm	137 mm	149 mm	163 mm	171 mm
6	105	Plaine méditerranéenne	93 mm	97 mm	104 mm	119 mm	132 mm	142 mm	149 mm
6	108	Maures Esterel	103 mm	105 mm	109 mm	113 mm	124 mm	136 mm	140 mm
6	112	Collines calcaires de Basse	83 mm	85 mm	92 mm	105 mm	111 mm	117 mm	122 mm
6	114	Corbières	98 mm	101 mm	109 mm	123 mm	131 mm	135 mm	137 mm
6	116	Bordure Orientale des Pyrénées	142 mm	145 mm	151 mm	161 mm	176 mm	186 mm	189 mm
7	13	Devoluy Vercors sud	79 mm	81 mm	84 mm	86 mm	90 mm	94 mm	98 mm
7	14	Préalpes dromoises Baronnies	77 mm	78 mm	80 mm	86 mm	97 mm	104 mm	110 mm
7	15	Gapençais Embrunais	65 mm	66 mm	71 mm	77 mm	80 mm	85 mm	91 mm
7	16	Plateau calcaire de provence -	80 mm	85 mm	89 mm	94 mm	103 mm	110 mm	112 mm
7	17	Plateaux calcaires de Provence	95 mm	102 mm	107 mm	110 mm	121 mm	130 mm	139 mm
7	106	Préalpes Digne - Haute vallée du	78 mm	79 mm	82 mm	90 mm	103 mm	120 mm	129 mm
8	70	Haute Loire Cévenole	109 mm	121 mm	150 mm	174 mm	201 mm	213 mm	219 mm
8	71	Cévennes	120 mm	126 mm	144 mm	178 mm	198 mm	218 mm	232 mm
8	103	Montagne Noire Climat cévenol	115 mm	122 mm	132 mm	148 mm	163 mm	183 mm	194 mm
8	115	Causses cévenoles	151 mm	156 mm	169 mm	179 mm	193 mm	204 mm	210 mm

Tableau 7. 18 - Distribution des valeurs de précipitations sur 24 H à la fréquence décennale par HER de niveau 2

code HER1	code HER2	nom HER 2	"5 %"	"10 %"	"25 %"	"50 %"	"75 %"	"90 %"	"95 %"
9	30	Pays de Caen	44 mm	44 mm	45 mm	49 mm	54 mm	56 mm	57 mm
9	32	Boulonnais	45 mm	46 mm	48 mm	50 mm	52 mm	53 mm	54 mm
9	35	Pays de Bray	44 mm	44 mm	45 mm	45 mm	46 mm	47 mm	48 mm
9	36	BP-Ile de France	41 mm	42 mm	44 mm	46 mm	48 mm	50 mm	51 mm
9	37	Cotentin est	47 mm	47 mm	49 mm	52 mm	55 mm	56 mm	57 mm
9	38	TC-auréole crétacé	40 mm	41 mm	43 mm	45 mm	47 mm	49 mm	51 mm
9	40	Champagne humide	43 mm	44 mm	46 mm	49 mm	51 mm	54 mm	56 mm
9	41	Tables calcaires Sud Loire	44 mm	45 mm	46 mm	48 mm	51 mm	54 mm	56 mm
9	54	TC-Nord Loire-Perche	42 mm	43 mm	44 mm	46 mm	48 mm	50 mm	51 mm
9	57	TC - Hte Normandie Picardie	42 mm	43 mm	44 mm	47 mm	49 mm	52 mm	54 mm
9	97	TC - Charentes Poitou	46 mm	48 mm	49 mm	51 mm	54 mm	56 mm	58 mm
10	1	Plateau calcaire haute Saône	53 mm	54 mm	56 mm	57 mm	60 mm	63 mm	65 mm
10	25	Plateau lorrain	47 mm	49 mm	52 mm	54 mm	57 mm	59 mm	60 mm
10	26	Bassin de Forbach	51 mm	51 mm	52 mm	53 mm	54 mm	55 mm	55 mm
10	27	Plaine de Woivre	48 mm	48 mm	50 mm	50 mm	52 mm	54 mm	55 mm
10	51	Bazois Auxois	48 mm	50 mm	52 mm	54 mm	57 mm	61 mm	62 mm
10	53	BP-Côtes calcaires	44 mm	46 mm	48 mm	51 mm	55 mm	59 mm	61 mm
10	75	Collines de Haute-Saône	51 mm	52 mm	54 mm	57 mm	59 mm	61 mm	62 mm
10	82	Côtes de Macon	64 mm	64 mm	65 mm	66 mm	67 mm	68 mm	68 mm
10	98	Collines sous-Vosgiennes	52 mm	52 mm	53 mm	54 mm	56 mm	58 mm	59 mm
10	99	Côtes de Bourgogne	50 mm	52 mm	56 mm	60 mm	63 mm	65 mm	66 mm
11	64	Collines Calcaires de Dordogne	54 mm	56 mm	60 mm	63 mm	65 mm	68 mm	71 mm
11	65	Causses du Quercy	63 mm	64 mm	66 mm	69 mm	71 mm	73 mm	75 mm
12	55	MA-nord est	44 mm	45 mm	46 mm	49 mm	52 mm	55 mm	58 mm
12	58	MA-sud intérieur	44 mm	45 mm	48 mm	51 mm	54 mm	57 mm	58 mm
12	59	MA-ouest	44 mm	47 mm	50 mm	54 mm	58 mm	63 mm	65 mm
12	60	MA-est intérieur	42 mm	42 mm	44 mm	47 mm	51 mm	55 mm	58 mm
13	21	Landes	54 mm	56 mm	59 mm	63 mm	69 mm	76 mm	77 mm
14	66	Coteaux molassiques Nord	53 mm	55 mm	57 mm	59 mm	62 mm	65 mm	66 mm
14	68	Coteaux molassiques Est Aquitaine	59 mm	61 mm	65 mm	69 mm	72 mm	80 mm	90 mm
14	77	Coteaux molassiques bassin de	57 mm	57 mm	60 mm	64 mm	71 mm	82 mm	89 mm
14	78	Coteaux molassiques Centre	51 mm	53 mm	56 mm	58 mm	63 mm	68 mm	70 mm
15	4	Forêt de Chaux	59 mm	60 mm	61 mm	62 mm	62 mm	63 mm	63 mm
15	7	Dombes	70 mm	70 mm	72 mm	75 mm	77 mm	81 mm	83 mm
15	81	Plaine de Bourgogne	53 mm	55 mm	58 mm	61 mm	64 mm	66 mm	67 mm
15	84	Bresse	63 mm	64 mm	66 mm	68 mm	70 mm	72 mm	73 mm
16	22	Corse	67 mm	76 mm	89 mm	107 mm	131 mm	161 mm	174 mm
16	88	Corse plaine d'Aleria	128 mm	129 mm	135 mm	145 mm	160 mm	169 mm	173 mm
17	45	Plaine du Forez	66 mm	66 mm	66 mm	67 mm	68 mm	69 mm	69 mm
17	46	Limagne de l'Allier	60 mm	61 mm	62 mm	63 mm	65 mm	67 mm	68 mm
17	52	Fossés tectoniques	51 mm	53 mm	56 mm	58 mm	61 mm	64 mm	65 mm
18	61	Alsace-collines	45 mm	46 mm	47 mm	50 mm	53 mm	61 mm	65 mm
18	62	Alsace- plaine	41 mm	44 mm	47 mm	50 mm	54 mm	57 mm	60 mm
18	73	Collines du Sundgau	49 mm	50 mm	53 mm	57 mm	61 mm	68 mm	74 mm
19	113	Grands Causses	73 mm	74 mm	81 mm	86 mm	100 mm	123 mm	138 mm
20	28	Sologne-Forêt d'Orléans	42 mm	43 mm	44 mm	45 mm	46 mm	47 mm	48 mm
20	31	Flandres intérieure	43 mm	44 mm	45 mm	46 mm	47 mm	50 mm	51 mm
20	33	Douai-Condé	42 mm	42 mm	43 mm	44 mm	45 mm	47 mm	47 mm
20	39	Thiérache	42 mm	44 mm	46 mm	49 mm	51 mm	53 mm	54 mm
20	42	Epandages éluviaux	48 mm	49 mm	50 mm	51 mm	54 mm	56 mm	57 mm
21	48	Montagne bourbonnaise	59 mm	60 mm	64 mm	66 mm	68 mm	69 mm	70 mm
21	87	Morvan - Charollais	52 mm	54 mm	56 mm	59 mm	62 mm	65 mm	67 mm
21	89	Hautes Terres Limousines	57 mm	59 mm	62 mm	65 mm	70 mm	74 mm	76 mm
21	92	MC Plateau Limousin	54 mm	56 mm	58 mm	61 mm	67 mm	72 mm	74 mm
22	34	Ardennes	40 mm	43 mm	45 mm	49 mm	53 mm	56 mm	58 mm

Tableau 7. 18 - Distribution des valeurs de précipitations sur 24 H à la fréquence décennale
par HER de niveau 2

(Suite)

code HER 1	nom HER 1	"5 %"	"10 %"	"25 %"	"50 %"	"75 %"	"90 %"	"95 %"
1	PYRENEES	18.1 °C	19.1 °C	21.0 °C	23.2 °C	25.0 °C	25.8 °C	26.2 °C
2	ALPES INTERNES	14.6 °C	16.1 °C	18.4 °C	20.7 °C	22.9 °C	24.7 °C	25.7 °C
3	MASSIF CENTRAL SUD	20.2 °C	20.9 °C	22.4 °C	23.9 °C	25.4 °C	26.4 °C	27.0 °C
4	VOSGES	20.5 °C	21.4 °C	22.5 °C	23.4 °C	24.0 °C	24.7 °C	24.9 °C
5	JURA-PREALPES DU NORD	20.5 °C	21.2 °C	22.7 °C	24.4 °C	25.9 °C	26.8 °C	27.4 °C
6	MEDITERRANEEN	27.3 °C	27.7 °C	28.2 °C	28.8 °C	29.4 °C	30.0 °C	30.5 °C
7	PREALPES DU SUD	23.3 °C	24.2 °C	25.4 °C	26.5 °C	27.5 °C	28.4 °C	28.8 °C
8	CEVENNES	19.8 °C	21.0 °C	23.4 °C	25.4 °C	27.3 °C	28.4 °C	28.8 °C
9	TABLES CALCAIRES	21.1 °C	21.9 °C	23.1 °C	24.3 °C	25.1 °C	25.8 °C	26.1 °C
10	COTES CALCAIRES EST	22.7 °C	22.9 °C	23.4 °C	24.0 °C	24.8 °C	25.4 °C	25.6 °C
11	CAUSSES AQUITAINS	25.3 °C	25.5 °C	25.9 °C	26.5 °C	27.0 °C	27.4 °C	27.7 °C
12	ARMORICAIN	19.9 °C	20.6 °C	21.7 °C	23.3 °C	24.5 °C	25.1 °C	25.4 °C
13	LANDES	24.4 °C	24.8 °C	25.6 °C	26.5 °C	27.0 °C	27.3 °C	27.4 °C
14	COTEAUX AQUITAINS	25.2 °C	25.8 °C	26.3 °C	26.8 °C	27.1 °C	27.5 °C	27.7 °C
15	PLAINE SAONE	25.3 °C	25.4 °C	25.6 °C	25.8 °C	26.0 °C	26.4 °C	26.6 °C
16	CORSE	25.2 °C	25.9 °C	26.9 °C	27.9 °C	28.8 °C	29.5 °C	30.0 °C
17	DEPRESSIONS SEDIMENTAIRES	25.4 °C	25.5 °C	25.7 °C	26.0 °C	26.3 °C	26.7 °C	26.9 °C
18	ALSACE	23.6 °C	23.9 °C	24.3 °C	24.8 °C	25.2 °C	25.5 °C	25.6 °C
19	HH	21.2 °C	21.8 °C	22.8 °C	23.8 °C	24.6 °C	25.4 °C	26.0 °C
20	DEPOTS ARGILS SABLEUX	21.3 °C	21.8 °C	22.8 °C	24.7 °C	25.1 °C	25.8 °C	26.0 °C
21	MASSIF CENTRAL NORD	22.2 °C	22.7 °C	23.9 °C	24.8 °C	25.5 °C	25.9 °C	26.1 °C
22	ARDENNES	20.9 °C	21.2 °C	22.0 °C	23.0 °C	23.5 °C	23.9 °C	24.3 °C

Tableau 7. 19 - Distribution des valeurs de températures maximales du mois de juillet par HER de niveau 1

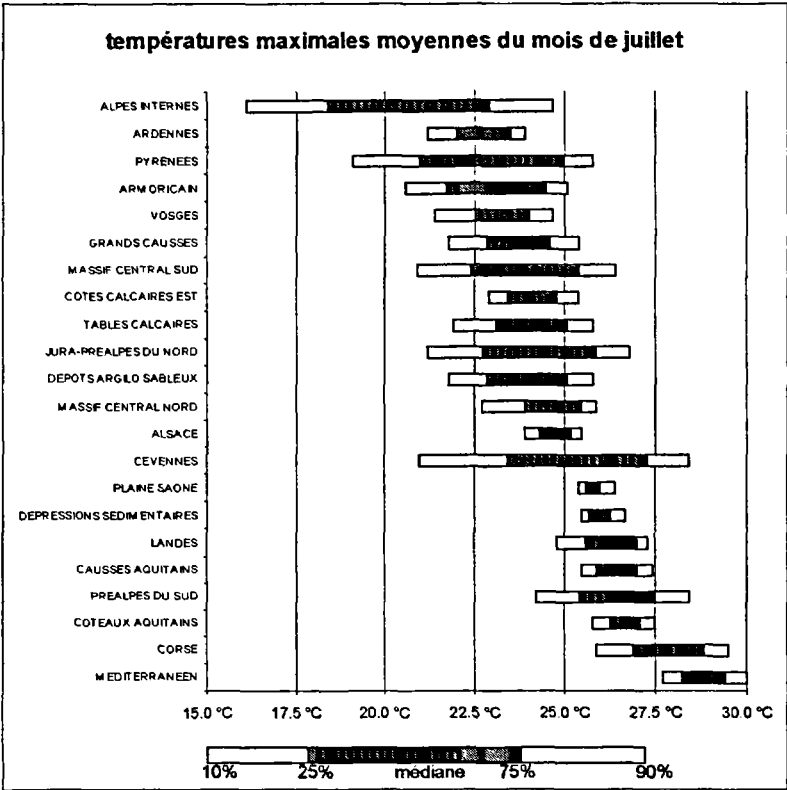


Figure 7. 9 - Représentation de la distribution des valeurs de températures maximales du mois de juillet par HER de niveau 1

code HER1	code HER2	nom HER 2	"5 %"	"10 %"	"25 %"	"50 %"	"75 %"	"90 %"	"95 %"
1	23	Cf 96 Pyrénées étage montagnard	22.7 °C	22.9 °C	23.1 °C	23.5 °C	23.8 °C	24.3 °C	24.6 °C
1	24	Pyrénées orientales	17.5 °C	18.1 °C	19.6 °C	22.0 °C	24.5 °C	26.2 °C	27.0 °C
1	67	Bordure Pyrénéenne Centrale	24.9 °C	25.0 °C	25.3 °C	25.7 °C	26.0 °C	26.4 °C	26.7 °C
1	69	Bordure Pyrénéenne atlantique	23.7 °C	24.4 °C	25.1 °C	25.5 °C	25.9 °C	26.2 °C	26.3 °C
1	94	Pyrénées étage alpin et subalpin occi	16.0 °C	17.2 °C	18.8 °C	20.1 °C	21.5 °C	22.8 °C	23.4 °C
1	95	Pyrénées étage alpin et subalpin	18.4 °C	18.8 °C	19.6 °C	21.0 °C	22.1 °C	23.3 °C	23.9 °C
1	96	Pyrénées étage montagnard	20.2 °C	21.1 °C	22.3 °C	23.5 °C	24.6 °C	25.3 °C	25.6 °C
2	8	Massif du Mont Blanc	12.0 °C	13.2 °C	15.5 °C	18.8 °C	20.9 °C	22.2 °C	22.6 °C
2	9	Massif Schisteux Maurienne	14.5 °C	15.5 °C	16.9 °C	19.0 °C	22.0 °C	24.0 °C	24.9 °C
2	10	Massif de la Vanoise	11.4 °C	12.6 °C	14.3 °C	16.1 °C	17.9 °C	19.9 °C	21.3 °C
2	12	Massif de l'Oisans	17.1 °C	18.0 °C	19.2 °C	20.9 °C	22.7 °C	24.0 °C	24.8 °C
2	101	Massif Beaufortain Belledonne	16.0 °C	17.0 °C	18.4 °C	20.8 °C	23.6 °C	25.3 °C	26.1 °C
2	107	Alpes Internes du Sud	17.9 °C	18.7 °C	20.0 °C	21.7 °C	23.8 °C	25.4 °C	26.8 °C
3	43	MC-Dépressions internes	23.7 °C	24.4 °C	25.1 °C	25.7 °C	26.1 °C	26.5 °C	26.8 °C
3	44	MC-Terres Granitiques orientales	22.9 °C	23.3 °C	24.0 °C	24.7 °C	25.5 °C	26.0 °C	26.2 °C
3	47	MC-Dépressions du Puy	22.4 °C	22.6 °C	23.3 °C	23.9 °C	24.3 °C	24.5 °C	24.8 °C
3	49	Hautes Terres Volcaniques	19.6 °C	19.9 °C	20.5 °C	21.7 °C	22.8 °C	24.2 °C	25.1 °C
3	50	Hautes Terres Granitiques orientales	20.1 °C	20.8 °C	21.8 °C	22.8 °C	24.1 °C	25.2 °C	25.7 °C
3	72	Montagne noire	23.1 °C	23.5 °C	23.9 °C	24.8 °C	26.0 °C	27.1 °C	27.4 °C
3	86	Mont du Lyonnais - Pilat	22.5 °C	23.0 °C	24.1 °C	25.1 °C	25.9 °C	26.7 °C	27.1 °C
3	90	Hautes Terres Granitiques -	19.6 °C	20.2 °C	21.0 °C	22.2 °C	23.2 °C	24.0 °C	25.1 °C
3	91	Hautes Terres Volcaniques humides	19.1 °C	19.6 °C	20.8 °C	22.1 °C	23.2 °C	24.2 °C	25.3 °C
3	93	MC versant occidental	22.8 °C	23.3 °C	24.0 °C	25.0 °C	26.3 °C	27.1 °C	27.4 °C
4	63	Vosges granitiques	19.7 °C	20.4 °C	21.8 °C	22.9 °C	23.8 °C	24.4 °C	24.8 °C
4	74	Vosges gréseuses	22.1 °C	22.5 °C	23.2 °C	23.7 °C	24.2 °C	24.8 °C	25.0 °C
5	2	Jura premier plateau	22.6 °C	22.9 °C	23.5 °C	24.2 °C	24.8 °C	25.3 °C	25.6 °C
5	3	Jura nord	20.5 °C	20.7 °C	21.1 °C	21.7 °C	22.2 °C	22.9 °C	23.3 °C
5	5	Jura sud	19.3 °C	20.1 °C	21.6 °C	22.7 °C	23.8 °C	24.5 °C	24.9 °C
5	6	Massif Chablais Giffre	17.2 °C	18.3 °C	20.0 °C	21.5 °C	23.0 °C	24.2 °C	25.0 °C
5	11	Vercors nord	21.3 °C	21.5 °C	22.3 °C	23.9 °C	25.4 °C	26.7 °C	27.1 °C
5	76	Piedmont Alpes Jura	23.6 °C	24.1 °C	24.9 °C	25.6 °C	26.3 °C	26.9 °C	27.1 °C
5	79	Massifs Calcaires Chartreuse Aravis	19.2 °C	20.2 °C	21.5 °C	23.2 °C	25.6 °C	27.2 °C	27.8 °C
5	80	Vallée du Drac	23.1 °C	23.4 °C	24.0 °C	24.8 °C	25.3 °C	26.2 °C	26.8 °C
5	85	Collines du Bas Dauphiné	25.0 °C	25.3 °C	25.9 °C	26.5 °C	27.0 °C	27.7 °C	27.9 °C
6	56	Collines de Basses Provinces	27.9 °C	28.1 °C	28.6 °C	28.9 °C	29.5 °C	29.8 °C	30.0 °C
6	102	Plaine littorale méditerranéenne	27.0 °C	27.3 °C	27.5 °C	27.9 °C	28.3 °C	28.6 °C	28.9 °C
6	104	Garrigues sub cévenoles	27.1 °C	27.5 °C	28.1 °C	28.7 °C	29.2 °C	29.6 °C	29.8 °C
6	105	Plaine méditerranéenne	27.6 °C	27.9 °C	28.4 °C	28.9 °C	29.3 °C	29.8 °C	30.1 °C
6	108	Maures Esterel	27.4 °C	27.5 °C	27.9 °C	28.6 °C	29.5 °C	30.4 °C	30.7 °C
6	112	Collines calcaires de Basse	27.5 °C	27.9 °C	28.5 °C	29.3 °C	30.3 °C	30.8 °C	31.1 °C
6	114	Corbières	25.9 °C	26.1 °C	26.6 °C	27.1 °C	27.8 °C	28.2 °C	28.4 °C
6	116	Bordure Orientale des Pyrénées	24.0 °C	24.5 °C	25.2 °C	26.2 °C	27.3 °C	27.9 °C	28.2 °C
7	13	Devoluy Vercors sud	20.2 °C	20.9 °C	22.0 °C	23.4 °C	24.7 °C	25.8 °C	26.3 °C
7	14	Préalpes dromoises Baronnies	25.1 °C	25.5 °C	26.2 °C	26.9 °C	27.8 °C	28.5 °C	28.8 °C
7	15	Gapençais Embrunais	24.1 °C	24.5 °C	25.3 °C	26.6 °C	27.6 °C	28.3 °C	28.5 °C
7	16	Plateau calcaire de provence -	24.6 °C	24.9 °C	25.7 °C	26.5 °C	27.5 °C	28.1 °C	28.4 °C
7	17	Plateaux calcaires de Provence	24.3 °C	24.8 °C	25.8 °C	26.8 °C	27.5 °C	28.4 °C	28.9 °C
7	106	Préalpes Digne - Haute vallée du Var	24.1 °C	24.6 °C	25.5 °C	26.3 °C	27.5 °C	28.9 °C	29.6 °C
8	70	Haute Loire Cevenole	18.9 °C	19.2 °C	19.9 °C	21.1 °C	22.1 °C	23.4 °C	24.4 °C
8	71	Cévennes	19.9 °C	21.4 °C	23.8 °C	25.6 °C	27.3 °C	28.4 °C	28.8 °C
8	103	Montagne Noire Climat cévenol	22.8 °C	23.3 °C	24.7 °C	26.8 °C	28.0 °C	28.9 °C	29.3 °C
8	115	Causses cévenoles	23.4 °C	23.7 °C	24.4 °C	25.3 °C	26.4 °C	27.3 °C	27.6 °C

Tableau 7. 20 - Distribution des valeurs de températures maximales du mois de juillet par HER de niveau 2

code HER1	code HER2	nom HER 2	"5 %"	"10 %"	"25 %"	"50 %"	"75 %"	"90 %"	"95 %"
9	30	Pays de Caen	20.8 °C	20.9 °C	21.2 °C	21.7 °C	22.3 °C	22.6 °C	22.8 °C
9	32	Boulonnais	19.2 °C	19.3 °C	19.5 °C	19.8 °C	20.2 °C	20.5 °C	20.6 °C
9	35	Pays de Bray	21.9 °C	22.0 °C	22.3 °C	22.7 °C	23.1 °C	23.5 °C	23.6 °C
9	36	BP-Ile de France	22.3 °C	22.8 °C	23.4 °C	23.9 °C	24.3 °C	24.9 °C	25.2 °C
9	37	Cotentin est	19.7 °C	20.6 °C	21.5 °C	22.0 °C	22.4 °C	22.7 °C	22.9 °C
9	38	TC-auréole crétacé	22.2 °C	22.6 °C	23.5 °C	24.2 °C	24.6 °C	24.9 °C	25.1 °C
9	40	Champagne humide	22.7 °C	23.0 °C	23.7 °C	24.5 °C	24.9 °C	25.1 °C	25.2 °C
9	41	Tables calcaires Sud Loire	24.4 °C	24.7 °C	25.0 °C	25.4 °C	25.7 °C	26.0 °C	26.1 °C
9	54	TC-Nord Loire-Perche	22.1 °C	22.5 °C	23.4 °C	24.3 °C	24.7 °C	25.1 °C	25.3 °C
9	57	TC - Hte Normandie Picardie	19.8 °C	20.2 °C	21.1 °C	22.0 °C	22.9 °C	23.6 °C	24.0 °C
9	97	TC - Charentes Poitou	24.6 °C	25.0 °C	25.5 °C	25.9 °C	26.2 °C	26.5 °C	26.7 °C
10	1	Plateau calcaire haute Saône	24.9 °C	25.1 °C	25.4 °C	25.6 °C	25.8 °C	25.9 °C	26.0 °C
10	25	Plateau lorrain	22.5 °C	22.8 °C	23.1 °C	23.5 °C	23.9 °C	24.2 °C	24.4 °C
10	26	Bassin de Forbach	22.2 °C	22.4 °C	22.9 °C	23.1 °C	23.4 °C	23.7 °C	24.0 °C
10	27	Plaine de Woevre	23.1 °C	23.2 °C	23.3 °C	23.7 °C	23.9 °C	24.0 °C	24.1 °C
10	51	Bazois Auxois	23.8 °C	24.0 °C	24.6 °C	25.0 °C	25.4 °C	25.6 °C	25.8 °C
10	53	BP-Côtes calcaires	22.7 °C	22.9 °C	23.2 °C	24.0 °C	24.4 °C	24.9 °C	25.2 °C
10	75	Collines de Haute-Saône	23.9 °C	24.4 °C	24.9 °C	25.2 °C	25.5 °C	25.6 °C	25.8 °C
10	82	Côtes de Macon	24.7 °C	24.8 °C	24.9 °C	25.3 °C	25.6 °C	25.8 °C	25.9 °C
10	98	Collines sous-Vosgiennes	23.5 °C	23.9 °C	24.5 °C	25.1 °C	25.4 °C	25.6 °C	25.8 °C
10	99	Côtes de Bourgogne	23.3 °C	23.6 °C	24.0 °C	24.4 °C	25.0 °C	25.4 °C	25.6 °C
11	64	Collines Calcaires de Dordogne	25.2 °C	25.5 °C	25.8 °C	26.3 °C	26.8 °C	27.3 °C	27.5 °C
11	65	Causses du Quercy	25.5 °C	25.8 °C	26.4 °C	26.9 °C	27.3 °C	27.7 °C	28.0 °C
12	55	MA-nord est	20.2 °C	21.1 °C	21.8 °C	22.5 °C	23.2 °C	23.9 °C	24.1 °C
12	58	MA-sud intérieur	23.4 °C	23.7 °C	24.2 °C	24.8 °C	25.2 °C	25.6 °C	25.8 °C
12	59	MA-ouest	19.3 °C	19.5 °C	20.3 °C	21.0 °C	21.9 °C	22.5 °C	22.6 °C
12	60	MA-est intérieur	20.4 °C	20.9 °C	22.4 °C	23.6 °C	24.3 °C	24.6 °C	24.9 °C
13	21	Landes	24.5 °C	24.9 °C	25.7 °C	26.5 °C	27.0 °C	27.3 °C	27.4 °C
14	66	Coteaux molassiques Nord Aquitaine	25.9 °C	26.0 °C	26.4 °C	26.7 °C	27.1 °C	27.5 °C	27.6 °C
14	68	Coteaux molassiques Est Aquitaine	26.2 °C	26.5 °C	26.8 °C	27.1 °C	27.5 °C	27.8 °C	28.0 °C
14	77	Coteaux molassiques bassin de	24.5 °C	24.9 °C	25.4 °C	26.2 °C	26.6 °C	26.8 °C	26.9 °C
14	78	Coteaux molassiques Centre	25.6 °C	26.2 °C	26.6 °C	26.9 °C	27.2 °C	27.4 °C	27.5 °C
15	4	Forêt de Chaux	25.9 °C	26.0 °C	26.2 °C	26.4 °C	26.5 °C	26.6 °C	26.7 °C
15	7	Dombes	25.5 °C	25.6 °C	25.7 °C	25.8 °C	25.9 °C	26.0 °C	26.1 °C
15	81	Plaine de Bourgogne	25.2 °C	25.3 °C	25.5 °C	25.8 °C	26.1 °C	26.5 °C	26.7 °C
15	84	Bresse	25.4 °C	25.5 °C	25.6 °C	25.7 °C	26.0 °C	26.4 °C	26.6 °C
16	22	Corse	25.1 °C	25.8 °C	26.8 °C	27.9 °C	28.8 °C	29.5 °C	30.0 °C
16	88	Corse plaine d'Aleria	27.5 °C	27.6 °C	27.8 °C	28.1 °C	28.5 °C	28.7 °C	28.8 °C
17	45	Plaine du Forez	26.0 °C	26.1 °C	26.2 °C	26.5 °C	26.8 °C	26.9 °C	27.1 °C
17	46	Limagne de l'Allier	25.5 °C	25.7 °C	26.0 °C	26.3 °C	26.7 °C	27.1 °C	27.3 °C
17	52	Fossés tectoniques	25.3 °C	25.4 °C	25.6 °C	25.8 °C	26.1 °C	26.3 °C	26.5 °C
18	61	Alsace-collines	23.7 °C	23.9 °C	24.3 °C	24.6 °C	24.9 °C	25.1 °C	25.2 °C
18	62	Alsace- plaine	24.2 °C	24.4 °C	24.8 °C	25.1 °C	25.4 °C	25.6 °C	25.8 °C
18	73	Collines du Sundgau	23.4 °C	23.5 °C	23.7 °C	24.1 °C	24.3 °C	24.5 °C	24.6 °C
19	113	Grands Causses	21.2 °C	21.8 °C	22.8 °C	23.8 °C	24.6 °C	25.4 °C	26.0 °C
20	28	Sologne-Forêt d'Orléans	24.6 °C	24.7 °C	24.8 °C	24.9 °C	25.0 °C	25.2 °C	25.3 °C
20	31	Flandres intérieure	20.8 °C	21.0 °C	21.4 °C	22.0 °C	22.6 °C	22.8 °C	22.9 °C
20	33	Douai-Condé	22.0 °C	22.1 °C	22.3 °C	22.7 °C	23.0 °C	24.2 °C	24.6 °C
20	39	Thiérache	22.5 °C	22.6 °C	22.9 °C	23.2 °C	23.5 °C	23.7 °C	23.8 °C
20	42	Epanages éluviaux	25.2 °C	25.3 °C	25.6 °C	25.9 °C	26.1 °C	26.2 °C	26.3 °C
21	48	Montagne bourbonnaise	24.0 °C	24.5 °C	25.0 °C	25.4 °C	25.8 °C	26.3 °C	26.6 °C
21	87	Morvan - Charollais	22.2 °C	22.7 °C	24.0 °C	25.0 °C	25.5 °C	25.9 °C	26.1 °C
21	89	Hautes Terres Limousines	21.4 °C	21.6 °C	22.0 °C	22.4 °C	22.8 °C	23.2 °C	23.5 °C
21	92	MC Plateau Limousin	23.3 °C	23.6 °C	24.3 °C	25.0 °C	25.5 °C	26.0 °C	26.2 °C
22	34	Ardennes	20.9 °C	21.2 °C	22.0 °C	23.0 °C	23.5 °C	23.9 °C	24.3 °C

Tableau 7. 20 - Distribution des valeurs de températures maximales du mois de juillet par HER de niveau 2
(Suite)

code HER 1	nom HER 1	pente méd	alt, méd,	alt écart (5% - 95%)	pente thalw méd	dens drainage	préc, annuelle	T max juillet	prec 24H/10 ans
1	PYRENEES	27.0 %	1027 m	2055 m	4.0 %	1.25 km/km2	1249 mm	23.2 °C	81 mm
2	ALPES INTERNES	39.8 %	1961 m	2099 m	8.8 %	1.41 km/km2	1156 mm	20.7 °C	77 mm
3	MASSIF CENTRAL SUD	8.3 %	674 m	896 m	1.9 %	1.06 km/km2	1024 mm	24.0 °C	72 mm
4	VOSGES	10.7 %	460 m	674 m	1.2 %	0.98 km/km2	1217 mm	23.4 °C	66 mm
5	JURA-PREALPES DU NORD	8.6 %	572 m	1226 m	1.2 %	0.73 km/km2	1281 mm	24.4 °C	80 mm
6	MEDITERRANEEN	4.5 %	175 m	602 m	0.8 %	1.35 km/km2	729 mm	28.8 °C	111 mm
7	PREALPES DU SUD	20.5 %	944 m	1066 m	2.6 %	1.50 km/km2	940 mm	26.5 °C	88 mm
8	CEVENNES	15.5 %	651 m	1069 m	2.3 %	1.41 km/km2	1332 mm	25.4 °C	167 mm
9	TABLES CALCAIRES	1.6 %	118 m	193 m	0.3 %	0.51 km/km2	731 mm	24.5 °C	48 mm
10	COTES CALCAIRES EST	3.3 %	281 m	241 m	0.4 %	0.64 km/km2	883 mm	24.1 °C	54 mm
11	CAUSSES CALCAIRES	4.6 %	214 m	259 m	0.7 %	0.45 km/km2	889 mm	26.5 °C	64 mm
12	ARMORICAIN	2.0 %	84 m	209 m	0.3 %	0.91 km/km2	811 mm	23.5 °C	50 mm
13	LANDES	0.4 %	56 m	123 m	0.3 %	1.01 km/km2	978 mm	26.5 °C	63 mm
14	COTEAUX AQUITAINS	3.3 %	148 m	344 m	0.4 %	1.18 km/km2	812 mm	26.8 °C	61 mm
15	PLAINE SAONE	1.1 %	208 m	105 m	0.2 %	1.00 km/km2	872 mm	25.8 °C	66 mm
16	CORSE	22.0 %	456 m	1541 m	3.9 %	1.49 km/km2	846 mm	27.9 °C	111 mm
17	DEPRESSIONS SEDIMENTAIRES	1.7 %	272 m	179 m	0.3 %	1.09 km/km2	793 mm	26.0 °C	60 mm
18	ALSACE	0.8 %	199 m	268 m	0.2 %	1.03 km/km2	760 mm	24.8 °C	51 mm
19	GRANDES CAUSSES	7.3 %	776 m	548 m	1.5 %	0.55 km/km2	961 mm	23.8 °C	86 mm
20	DEPOTS ARGILE SABLEUX	1.2 %	119 m	164 m	0.3 %	0.50 km/km2	681 mm	24.0 °C	46 mm
21	MASSIF CENTRAL NORD	4.0 %	370 m	552 m	0.8 %	0.96 km/km2	947 mm	24.9 °C	61 mm
22	ARDENNES	3.4 %	226 m	264 m	0.3 %	0.97 km/km2	955 mm	23.0 °C	49 mm

Tableau 7. 21 Distribution des valeurs médianes des principales variables par HER de niveau 1

RÉSUMÉ :

Le rapport de phase I de la présente étude avait pour objectif de proposer, à l'échelle du territoire métropolitain, une approche régionale de la typologie des écosystèmes d'eaux courantes adaptée aux préconisations de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau.

Le présent rapport a deux objectifs principaux : définir et caractériser les Hydro-écorégions pour la France métropolitaine, et tester de manière indépendante la validité de cette approche pour définir les conditions de référence des peuplements d'invertébrés benthiques.

Une carte à l'échelle du 1/1.000.000^{ème} des Hydro-écorégions est fournie, assortie d'une classification et d'une description détaillée. Au total, 22 HER-1 ont été identifiées sur des critères combinant le géologie, le relief et le climat, considérés de manière universelle comme les déterminants primaires du fonctionnement des écosystèmes d'eaux courantes. Ces HER-1, couplées à une description longitudinale du réseau à partir des rangs de Stralher, fournissent la base de la typologie requise pour la mise en application de la Directive.

Un deuxième niveau de régionalisation est également défini, aboutissant à la description quantifiée d'une centaine d'hydro-écorégions de niveau 2. Ces HER-2 servent à préciser la variabilité interne des HER-1.

Nous avons analysé une base de données interne au Cemagref, regroupant 239 relevés faunistiques à la famille, échantillonnés sur 88 stations de référence, réparties dans 10 HER-1.

Dans l'ensemble, l'analyse des peuplements d'invertébrés benthiques valide de manière très satisfaisante l'approche par hydro-écorégions. Cette conclusion se fonde sur quatre points principaux :

- *Il existe une distribution « écorégionale » des peuplements d'invertébrés*
- *L'effet « écorégion » apparaît largement prépondérant par rapport à l'influence des autres facteurs comme le rang ou la saison, qui apportent toutefois une part significative d'explication à la distribution des peuplements et devront être pris en compte*
- *Des comparaisons entre la typologie par hydro-écorégions et des classifications automatiques effectuées directement sur la faune montrent que le pouvoir discriminant des 6 écorégions est très bon, voire excellent, puis qu'il explique selon les méthodes utilisées 85% à 97% de la variance maximale explicable par une classification faunistique en 6 groupes.*
- *Cette régionalisation de la faune se traduit par des variations significatives de métriques fondamentales utilisées en bioindication, notamment la richesse taxonomique et la distribution des groupes de taxons indicateurs qui constituent l'IBGN.*

En conclusion, la typologie des eaux courantes par Hydro-écorégions constitue une approche robuste, opérationnelle et scientifiquement fondée pour la mise en application de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau.



Direction générale

Parc de Tourvoie

BP 44, 92163 Antony cedex

Tél. 01 40 96 61 21 - Fax 01 46 66 37 44

Sur minitel : 3616 Cemagref

Web : <http://www.cemagref.fr>