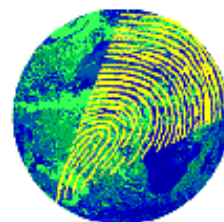


Etudes et travaux



INRA

Institut National de la Recherche Agronomique



ifen

Cartographie de l'aléa

"Erosion des sols"

en France

Collection Etudes et Travaux n° 18

Août 1998

institut français de l'environnement

61, boulevard Alexandre-Martin - F 45058 Orléans cedex 1

Cet ouvrage a été réalisé sous la direction d'Yves Le Bissonnais,
par Cécile Montier, Joël Daroussin, Dominique King
du *Service d'Etude des Sols et de la Carte Pédologique de France*,
à l'INRA, Centre de recherche d'Orléans

Le suivi du projet a été assuré :
par Jacques Thorette, pour l'Ifen
par P. Deblonde, pour le ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement

Coordination de la collection Etudes et travaux :
Françoise Nirascou

Directeur de la publication :
Bernard Morel, directeur de l'Ifen

© INRA, 1998

© ifen, 1998

ISSN 1263-9508 • ISBN 2-911089-17-0

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent ouvrage, faite sans l'autorisation de l'éditeur ou du Centre Français d'Exploitation du droit de copie (3, rue Hautefeuille - 75006 Paris), est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'oeuvre dans laquelle elles sont incorporées (loi du 1^{er} juillet 1992 - art. L.122-4 et L.122-5 et code Pénal art. 425).

TABLE DES MATIERES

AVANT-PROPOS	3
CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE.....	5
METHODE ET ETAPES DU TRAVAIL	9
POSTULATS DE DEPART ET METHODE DE TRAVAIL	9
TYPOLOGIE DES ALEAS EROSIFS	10
Type 1 : érosion en régions de grandes cultures	10
Type 2 : érosion de vignobles et de vergers.....	11
Type 3 : érosion de montagne	11
Type 4 : érosion méditerranéenne	11
ETAPES DU TRAVAIL	12
PARAMETRES DISPONIBLES POUR EVALUER LES FACTEURS DE L'EROSION.....	15
LES SOLS	15
Nature de la couche d'information.....	15
La battance.....	16
L'érodibilité	19
L'OCCUPATION DES SOLS	21
LE RELIEF	22
Nature de la couche d'information.....	22
Calcul des pentes	22
LE CLIMAT	23
Les hauteurs moyennes mensuelles de précipitations sur 30 ans.....	23
L'intensité des précipitations	24
La combinaison des hauteurs et des intensités de précipitations.....	24
LES TYPES DE CULTURE	24
CARACTERISTIQUES DU MODELE	26
PRINCIPES DE BASE	26
Type de modèle.....	26
Prise en compte des différents types érosifs	26
Application de la méthode	28
LA SENSIBILITE POTENTIELLE DES TERRAINS A L'EROSION	28
Premier facteur : l'occupation des sols d'après CORINE Land Cover (9 classes)	28
Second facteur : la battance (4 classes).....	29
Troisième facteur : les pentes (8 classes)	29
Quatrième facteur : l'érodibilité des terrains (3 classes)	29
L'ALEA MOYEN EROSION : INTEGRATION DES HAUTEURS ET DES INTENSITES DE PRECIPITATIONS.....	30

INTEGRATION DE L'ALEA EROSIF PAR UNITES SPATIALES D'INTEGRATION (USI)	31
CHOIX DE L'UNITE SPATIALE D'INTEGRATION	31
METHODE D'INTEGRATION	34
CARTOGRAPHIE DE LA TYPOLOGIE DES ALEAS	35
PREPARATION DES DONNEES DU RGA NECESSAIRES A L'ETABLISSEMENT DE LA CARTE TYPOLOGIQUE	35
DELIMITATION DES ZONES DE MONTAGNE	36
SYNTHESE DES DONNEES UTILISEES POUR ETABLIR LA CARTE TYPOLOGIQUE	36
Les types d'espaces agricoles	36
Les types de cultures	36
La zone de montagne	37
L'intensité de l'aléa	37
Légende de la carte typologique	38
ANALYSE DES RESULTATS	39
LA BASE DE DONNEES DES COULEES DE BOUE EN FRANCE	39
COMMENTAIRES DES RESULTATS DE LA CARTOGRAPHIE DES ALEAS EROSIFS PAR REGIONS AGRICOLES	40
Les trois régions du Nord-Ouest de la France (Nord - Pas-de-Calais, Picardie, Haute-Normandie)	40
La couronne Est du Bassin parisien (Ile-de-France, Champagne, Bourgogne)	41
Les Alpes et la vallée du Rhône	42
Le Sud-Ouest	43
Le Centre-Ouest	44
La Bretagne	45
La zone méditerranéenne et la Corse	45
Le Massif central, les Landes, la Basse-Normandie, les Pays de la Loire et l'Est	46
Tableau récapitulatif des résultats du modèle	48
VALIDATION DES RESULTATS	49
BILAN ET PERSPECTIVES	51
BILAN DE L'ETUDE	51
Les avantages liés aux choix de la méthode	51
Les difficultés rencontrées	51
PERSPECTIVES	52
BIBLIOGRAPHIE	53
CORRESPONDANCE DES FIGURES ENTRE LE RAPPORT ET LE CD-ROM	59
ANNEXES	63

AVANT-PROPOS

Cette étude a été réalisée à la demande conjointe de l'Institut français de l'Environnement (IFEN) et du ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. Elle fait suite à un inventaire des coulées de boue au cours des dix dernières années, qui a mis en évidence l'importance des phénomènes d'érosion dans la plupart des régions de France bien au-delà des zones classiques de montagne ou de la bordure méditerranéenne.

La réalisation de cette étude a été suivie par un comité scientifique composé de quatre experts appartenant à différents organismes concernés par l'érosion des sols : A.-Véronique AUZET du CNRS à Strasbourg, Christine KING du BRGM à Orléans, Jean-Joël GRIL du CEMAGREF à Lyon et Michel BORNAND de l'INRA à Montpellier. La version finale du rapport a largement bénéficié de leurs remarques et suggestions.

S'agissant d'une approche à l'échelle de l'ensemble du territoire français, les documents cartographiques présentés n'ont pas vocation à être agrandis ou analysés au niveau local. Ils ne peuvent fournir que des indications de tendance pour des portions de territoire de l'ordre de quelques dizaines de km², sachant que la variabilité locale des facteurs de l'érosion peut avoir une influence aussi grande que les grandes tendances mises en évidence par le modèle.

N.B. : un CD-Rom accompagne cette publication en fin d'ouvrage. Il contient l'ensemble des figures relatives à ce travail, sous le répertoire "images" (*Correspondance des figures entre le rapport et le CD-Rom, p. 59*).

Dans le texte, les **numéros de figures en gras** renvoient à ces illustrations couleurs.

CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

Le sol est une ressource naturelle non renouvelable à l'échelle de temps historique. L'une des causes majeures de sa dégradation est l'érosion. La prise en compte de l'érosion des sols dans une politique environnementale et agricole durable représente donc une priorité car elle revêt un caractère **d'irréversibilité**. L'érosion provoque des dégâts aux terres agricoles mais a aussi des conséquences au-delà du sol lui-même, puisqu'elle entraîne une dégradation de la qualité des eaux et le déplacement de sédiments qu'il faut ensuite gérer. Elle est aussi souvent à l'origine de **coulées de boue**¹ qui peuvent entraîner des dégâts importants faisant l'objet de demandes d'indemnisations des particuliers ou des collectivités, au titre des catastrophes naturelles. Nous étudierons ici les problèmes d'érosion dans les zones agricoles, mais nous n'aborderons pas l'érosion des berges des cours d'eau, ni l'érosion des régions de haute montagne. En effet, ces problèmes relèvent de facteurs et de processus différents.

Afin de connaître les terrains les plus exposés aux problèmes de l'érosion des sols, des essais de cartographie ont déjà été réalisés à différentes échelles. Parmi les travaux suivants cités en exemple, on peut distinguer les cartes d'érosion, basées sur des observations ou des synthèses bibliographiques, et les cartes de "risques" (aléa) d'érosion, résultant de la modélisation des fonctionnement des phénomènes.

Les cartes d'érosion des sols (phénomènes constatés d'après des observations ou des données existantes) :

- cartographie des zones d'érosion sous forme de quelques grandes unités, d'après la bibliographie existante (Hénin et Gobillot, 1950 ; Auzet, 1987) : érosion de grandes cultures, érosion de vignobles et de vergers sur coteaux ou sur pentes fortes.
- carte de l'érosion des sols divisée en 4 thèmes (érosion par l'eau, érosion éolienne, glissements de terrain et bad-lands), pour l'ouest de l'Europe (De Ploey, 1989).

Ces études ont été les premières à avoir traité de l'érosion des sols à l'échelle de la France mais elles ne délimitent que très succinctement les différentes zones érosives. Il faut aussi mentionner l'inventaire des coulées de boue en France de 1985 à 1995 (collectif, 1996) qui a été à l'origine du travail présenté ici. Cette étude recense par communes les coulées de boue ayant fait l'objet d'une demande d'indemnisation au titre des catastrophes naturelles. Elle comporte aussi une synthèse bibliographique sur les travaux de protection contre l'érosion des sols, et les mesures expérimentales ou appliquées localement pour limiter les dégâts de l'érosion. Les problèmes d'interprétation des résultats de cette étude seront détaillés plus loin.

¹ *Remarque* : le terme "coulée de boue", employé notamment dans les dossiers d'indemnisation des victimes des catastrophes naturelles, est très ambigu. Il n'est pas utilisé ici dans son sens géomorphologique traditionnel (écoulements torrentiels en montagne, ou mouvements de masses), mais comme un écoulement fortement chargé en sédiments provenant des terres cultivées et entraînant des particules de sol. Ce phénomène est donc particulier aux espaces agricoles. Nous avons cependant conservé la terminologie "administrative".

Les cartes des "risques" d'érosion (prévision des aléas à partir des connaissances actuelles des phénomènes, fondée sur des modèles mécanistes ou probabilistes) :

- études régionales, comme dans le Nord - Pas-de-Calais (King *et al.*, 1991), la région Midi-Pyrénées (Collectif, 1993). Les spécificités régionales de ces études, ainsi que la quantité et la qualité des données nécessaires (suivis de terrain) ne permettent pas de généraliser les méthodes utilisées à l'échelle nationale ;

- études nationales : carte des aléas d'érosion, obtenue par combinaison d'indices de pentes, de granulométrie et d'érosivité des pluies (Cadeville et Vogt in *Atlas de la France, milieux et ressources*, 1995) . La carte est rasterisée à la maille de 10 km et le rendu est peu satisfaisant. Le risque ne tenant pas compte de l'occupation des sols, des risques forts apparaissent sur des grandes parties du territoire non affectées par l'érosion. De plus le résultat semble affecté par de nombreux artefacts.

La carte de Pihan (1979) évalue l'érosivité des pluies en France par calcul mensuel de l'indice R (érosivité de la pluie) de Wischmeier. L'information est ponctuelle, pour 15 stations météorologiques.

- études internationales : on peut citer un certain nombre d'études comme celles de Icona (1988) en Espagne, Graziani (1988) en Italie, Biagi (1986) en Europe, Briggs *et al.* (1989) pour l'Europe méditerranéenne, mais cette liste n'est pas exhaustive (voir bibliographie).

Il faut aussi mentionner un travail collectif sur l'érosion dans la zone méditerranéenne (Sud de la France, Italie, Espagne, Grèce), pour la Communauté Européenne : c'est le programme CORINE-Erosion (collectif, 1992), qui a permis de mettre au point une méthodologie assez élaborée pour cartographier l'aléa érosif. L'espace cartographié pour la France se limite géographiquement au sud d'une ligne Bordeaux - Grenoble. La méthode consiste à effectuer un croisement dans un Système d'Information Géographique de données pédologiques, météorologiques, topographiques et d'occupation des sols. Pour la France, la carte finale des aléas d'érosion n'évalue qu'à 1 % la part des surfaces concernées par des risques forts et à 12 % les surfaces en risques moyens. Elle fait ressortir des risques moyens sur le rebord sud-est du Massif central et la région niçoise, mais aucun risque n'apparaît dans le Piémont pyrénéen ou dans la zone méditerranéenne.

Les résultats de cette étude présentent des limites, évoquées par les auteurs eux-mêmes, qui peuvent s'expliquer par le faible poids donné à l'agriculture, mais surtout par la faible précision des données utilisées à cette échelle. Notamment, le MNT¹ au pas de 1 km ne permet pas de caractériser les reliefs de faible amplitude, les données sur l'occupation des sols de CORINE Land Cover ne sont reclassées qu'en sols "entièrement couverts" ou "partiellement couverts" et les données météorologiques moyennes mensuelles sont intégrées par l'index de Fournier et un index d'aridité, qui ne permettent pas de prendre en compte l'érosion sous faibles pluies et sur sols sensibles à la formation d'une croûte de battance.

¹ Modèle numérique de terrain.

Dans l'ensemble, **il n'existe donc pas pour l'instant de travaux permettant d'évaluer les aléas d'érosion à l'échelle de la France et prenant en compte les différents processus régionaux**. Les études locales ou régionales apportent souvent des connaissances très précises, mais la qualité des données utilisées, les techniques de modélisation ou d'acquisition de données et les différentes méthodologies adoptées ne permettent pas d'effectuer des comparaisons interrégionales, ni de généraliser ces travaux à l'ensemble des régions françaises.

Par ailleurs, devant l'aggravation des dégâts observés depuis ces 20 dernières années, de nombreuses recherches sur les processus et les facteurs de l'érosion hydrique ont été engagées, tant par l'INRA que par d'autres organismes. Plusieurs synthèses ont été réalisées, en particulier à l'initiative des ministères de l'Environnement et de l'Agriculture (Auzet, 1987 ; Litzler, 1988 ; collectif, 1995). Par rapport aux connaissances antérieures, ces synthèses mettent en évidence l'importance des problèmes dans les zones de grande culture : érosion diffuse et érosion de thalweg par concentration du ruissellement produit par de vastes impluvium imperméabilisés par la battance et le tassement des sols, érosion en rigoles sur des coteaux en culture de printemps.

Ainsi, une typologie des processus se dégage, et l'on est maintenant en mesure de hiérarchiser les facteurs à l'origine de l'érosion dans les différents types de situations.

Dans ce contexte, l'objectif de ce travail est de réaliser une cartographie exhaustive de l'aléa érosion des sols sur la France entière, en utilisant les données les plus précises disponibles pour le territoire national métropolitain et en s'appuyant sur les connaissances les plus récentes des différents processus impliqués dans les phénomènes d'érosion hydrique des sols. Cette cartographie devra à la fois rendre compte de l'intensité de l'aléa et des types érosifs correspondants, afin de faire ressortir les spécificités régionales.

Le lecteur doit être mis en garde dès maintenant en ce qui concerne les résultats et les interprétations qui pourront être faites de cette cartographie de l'aléa érosif. En effet, compte tenu de la dimension et de la variabilité spatiale du territoire traité, **les résultats obtenus ne sont pas destinés à être interprétés localement**, mais plutôt à l'échelle de petites unités spatiales (cantons, petites régions agricoles...). Les résultats que nous avons obtenus par maille élémentaire ne seront donc pas présentés, mais seront intégrés selon diverses unités spatiales permettant de mettre en évidence des tendances régionales. Cette cartographie n'a donc pas pour objet de permettre des zooms trop poussés sur certaines régions. Ceux-ci devront faire l'objet d'études complémentaires utilisant des données de base plus précises.

Par ailleurs, compte tenu de l'échelle de travail, il n'a pas été possible de tenir compte de la disjonction spatiale qui peut exister dans certains cas entre les zones émettrices de ruissellement et les zones effectivement érodées au sein d'un bassin versant. L'intégration des résultats par bassin versant est cependant une première tentative pour prendre en compte l'unité spatiale de fonctionnement des processus d'érosion dans une cartographie de l'aléa.

Dans ce travail, l'érosion a été envisagée du point de vue des surfaces émettrices de particules solides, et non pas du point de vue du transport de ces particules dans les cours d'eau et de leur dépôt à l'aval. Dans cette optique, il y a érosion à partir du moment où le déplacement de particules dépasse la centaine de mètres ou sort d'une parcelle agricole, sans préjuger du devenir ultérieur de ces particules. D'autres processus (érosion de berges, régimes hydrologiques contrastés...) influent sur la charge solide transportée par les fleuves. Ces processus seraient donc à prendre en compte en complément de l'aléa érosion de surface, pour caractériser l'érosion de grands bassins ou évaluer les apports de sédiments dans des retenues ou des estuaires.

Enfin, une autre spécificité de ce travail réside dans la **différenciation saisonnière de l'aléa** qui permet de rendre compte de la réalité des différents régimes climatiques que l'on retrouve sur le territoire national. Cette approche saisonnière permet en outre de prendre en compte les interactions entre facteurs climatiques et occupation des sols de manière beaucoup plus précise que dans une approche annuelle et donc de mieux prendre en compte les différents types d'aléas érosifs.

METHODE ET ETAPES DU TRAVAIL

POSTULATS DE DEPART ET METHODE DE TRAVAIL

L'érosion des sols se développe lorsque les eaux de pluie, ne pouvant plus s'infiltrer dans le sol, ruissellent sur la parcelle en emportant les particules de terre. Ce refus du sol d'absorber les eaux en excédent apparaît soit lorsque l'intensité des pluies est supérieure à l'infiltrabilité de la surface du sol (**ruissellement "Hortonien"**), soit lorsque la pluie arrive sur une surface partiellement ou totalement saturée par une nappe (**ruissellement par saturation**). Ces deux types de ruissellement apparaissent généralement dans des milieux très différents, bien que l'on observe parfois une combinaison des deux (Cros-Cayot, 1996). Une fois le ruissellement déclenché sur la parcelle, l'érosion peut prendre différentes formes qui se combinent dans le temps et dans l'espace : l'érosion de versant **diffuse** ou en **rigoles parallèles** et l'érosion linéaire ou **concentrée de thalweg**.

Comme le suggèrent ces définitions, les processus érosifs dépendent d'une multiplicité de facteurs interagissant entre eux, et sont de ce fait complexes à modéliser. **Les facteurs de l'érosion** sont les données naturelles au sens large à prendre en compte pour étudier les phénomènes érosifs. Ils font maintenant l'objet d'un consensus et regroupent les quatre grands domaines suivants (Wischmeier et Smith, 1978 ; King et Le Bissonnais, 1992) :

- le sol,
- l'occupation du sol,
- la topographie,
- et le climat.

Les paramètres de l'érosion sont les différentes informations qui peuvent permettre de caractériser les facteurs de l'érosion. Par exemple, la pente est un paramètre pouvant caractériser le facteur topographie. Mais il existe de très nombreuses manières de caractériser chacun des facteurs évoqués ci-dessus : on peut considérer la pente moyenne d'une unité spatiale donnée, mais on peut aussi retenir le pourcentage de surface de l'unité spatiale avec une pente supérieure à un seuil donné, ou encore la dénivelée maximale sur cette surface, etc. On voit donc que des choix seront nécessaires. Le plus souvent ces choix résulteront d'un compromis entre la connaissance que l'on a des processus, qui va dicter la pertinence des paramètres, et la plus ou moins grande disponibilité des différents paramètres. Ainsi par exemple pour caractériser l'influence du climat, l'énergie cinétique cumulée des pluies serait probablement le meilleur paramètre, mais il n'est pas disponible, et on retiendra donc les hauteurs de pluie cumulée, pondérées par une information sur l'intensité des précipitations.

Dans ce travail, les quatre grands facteurs de l'érosion (sol, occupation du sol, topographie et climat) seront donc pris en compte au travers de quelques paramètres synthétiques disponibles à l'échelle de la France et permettant de décrire le plus efficacement possible les facteurs de l'érosion.

Ces paramètres seront traités et intégrés dans un modèle de prévision de l'aléa érosion combinant les principaux types érosifs connus. Dans un premier temps, chaque couche d'information géographique sera traitée informatiquement pour extraire l'information utilisable par le modèle. **On définira ensuite pour chaque combinaison de facteurs l'intensité de l'aléa érosif potentiel et le type d'érosion correspondant.**

La cartographie à réaliser devant prendre en compte les différents processus érosifs connus, nous nous sommes appuyés sur une **typologie des phénomènes érosifs** définie dans le rapport de synthèse de l'étude sur les coulées de boue (collectif, 1996). Cette typologie tient compte de critères climatiques (caractéristiques des pluies et saison de déclenchement des phénomènes d'érosion), de critères géomorphologiques (pentes, altitude), de critères agronomiques (types de cultures, période des récoltes, pratiques culturales) et de critères géographiques (paysages agricoles, occupation du sol, régions touchées).

TYPOLOGIE DES ALEAS EROSIFS

Pour chacun des types érosifs décrits ci-dessous on donnera les principaux facteurs déclenchants de l'érosion, classés par ordre d'importance, ceci afin de respecter cette hiérarchie dans le modèle de prévision global des aléas érosifs, qui doit être construit pour intégrer les différents types érosifs rencontrés.

Type 1 : érosion en régions de grandes cultures

Sous-type 1 : érosion automnale et hivernale par concentration du ruissellement

Sur les terrains nus ou peu couverts, imperméabilisés par une croûte de battance, une pluie même faible déclenche un ruissellement important. Ce ruissellement entraîne une érosion diffuse (Le Bissonnais *et al.*, 1996), et peut se concentrer dans les talwegs et acquérir localement des valeurs critiques de débit, entraînant la formation de ravines (Ludwig, 1993 ; Souchère, 1995).

Les facteurs déclenchants de l'érosion pour le sous-type 1 sont, par ordre d'importance :

- *la sensibilité à battance* (sensibilité des sols à la formation d'une croûte de battance) : sur des sols battus, le ruissellement peut survenir même sur des pentes faibles (inférieures à 5 %) et lors de précipitations peu élevées ;
- *l'occupation des sols* : l'absence de protection par un couvert végétal significatif en automne et en hiver. Les chantiers de récoltes, les cultures d'hiver et les intercultures nues sont favorables au ruissellement (Gallien *et al.*, 1995 ; Martin, 1996).

Sous-type 2 : érosion lors des orages de printemps et d'été

Lors des orages de printemps et d'été, l'érosion affecte les sols non ou peu couverts par la végétation et affinés pour le lit de semence des cultures de printemps. Les particules de terre sont facilement arrachées et entraînées par les pluies de forte intensité.

Les facteurs déclenchants de l'érosion pour le sous-type 2 sont, par ordre d'importance :

- *l'occupation des sols* : absence de protection par un couvert végétal lors des orages de printemps et du début de l'été (cultures de printemps) ;
- *les précipitations* : de fortes intensités au printemps ;
- *la sensibilité à la battance* : si les sols n'ont pas été retravaillés ; et *la pente* : si les sols ne sont pas battus.

Type 2 : érosion de vignobles et de vergers

On peut distinguer deux principaux types de gestion des interrangs qui correspondent à deux types de fonctionnement de l'érosion différents : lorsque la vigne est désherbée chimiquement, le sol tassé et imperméabilisé est à l'origine de la formation du ruissellement qui, en se concentrant, peut provoquer des dégâts importants à l'aval ; lorsque les interrangs sont travaillés, le ruissellement est moins fréquent, mais s'il intervient, l'érosion décape facilement le sol ameubli, d'autant plus que la pente est forte. Certains vignobles affectés depuis longtemps par l'érosion ont mis en place des stratégies de lutte qui limitent efficacement les dégâts (enherbement ou protection des interrangs, fossé de collecte...).

Les facteurs déclenchants de l'érosion pour le type vignoble sont, par ordre d'importance :

- *l'occupation des sols*. La taille des parcelles et leur localisation dans le paysage agricole ont une grande importance mais ne peuvent pas être prises en compte ici, de même que les aménagement anti-érosifs ;
- *les pentes et la battance* : pentes fortes pour une battance moyenne et pentes faibles pour une battance forte.

Type 3 : érosion de montagne

Du fait de la spécificité des processus et de l'absence de l'emprise agricole dans cette zone, la *zone de "haute montagne"* (altitude moyenne des communes supérieure à 1 200 m) ne sera pas traitée et sera matérialisée par un masque opaque superposé à la cartographie des aléas.

Pour la *zone de montagne* (altitude moyenne des communes supérieure à 700 m ou pente moyenne supérieure à 20 %), l'aléa érosif représenté correspondra à l'aléa sur les terrains agricoles en montagne. Cet aléa est lié notamment à l'instabilité des matériaux parentaux, et peut être du ravinement ou des glissements de terrains dans les zones agricoles. Les autres phénomènes typiquement montagnards tels que la solifluxion, les glissements de terrains de grande ampleur ou les laves torrentielles ne sont pas évalués par cette étude, dont l'objet principal est l'étude des phénomènes d'origine agricole.

L'érosion des zones agricoles de montagne est fonction :

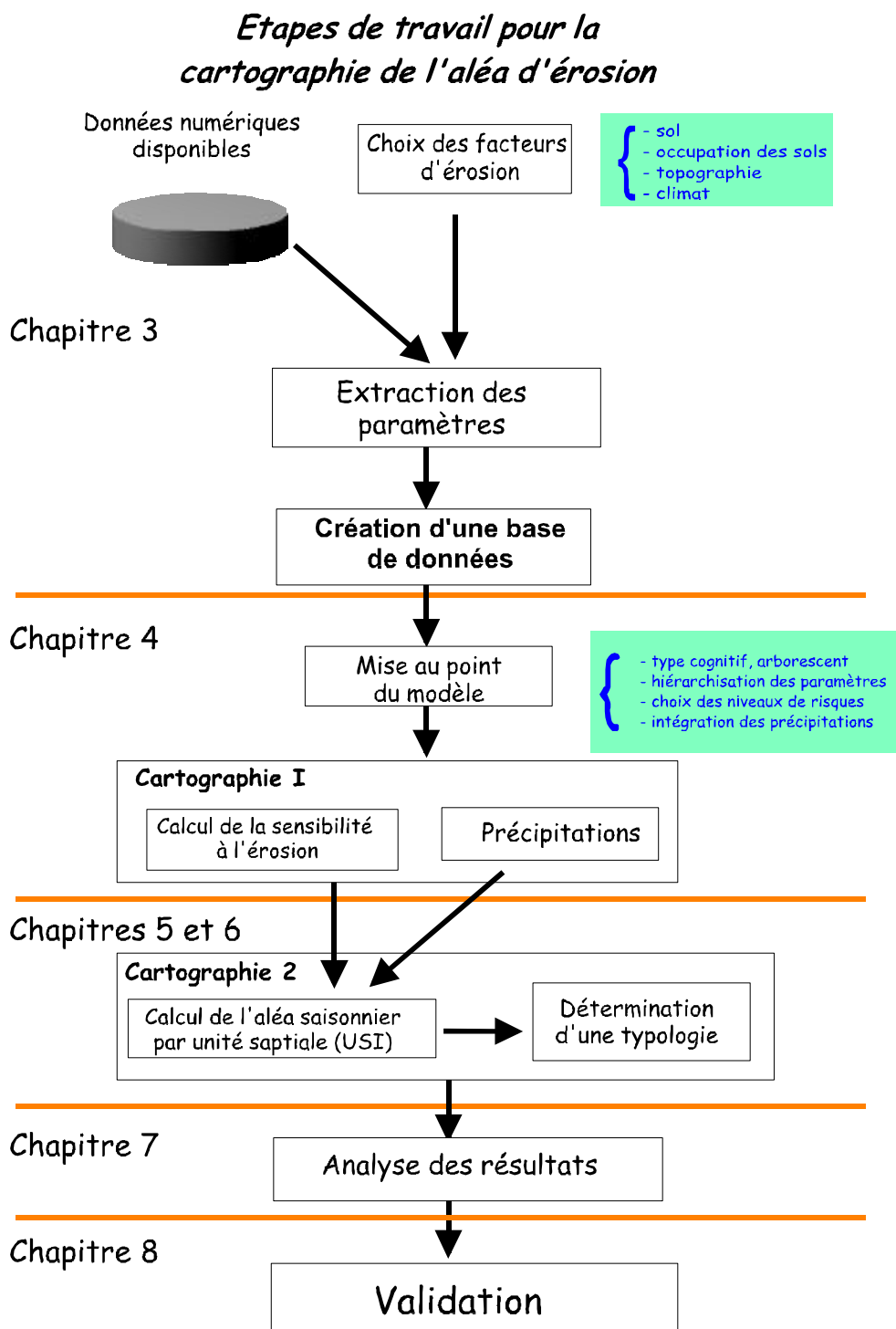
- *de l'intensité des pentes*, souvent supérieures à 30 % ;
- *de l'intensité des précipitations*, généralement élevées en toutes saisons ;
- *de l'érodibilité des terrains* : les matériaux parentaux instables peuvent être le siège de mouvements de terrains ou de ravinements importants.

Type 4 : érosion méditerranéenne

Sa spécificité vient d'un climat contrasté : sécheresse et orages d'été et d'automne violents. Ce type d'érosion affecte tous les types de cultures et peut provoquer des dégâts importants, souvent localisés à la zone orageuse. En fait, on retrouve dans la zone méditerranéenne tous les autres types précédemment décrits et on n'individualisera donc pas ce type érosif dans cette étude.

ETAPES DU TRAVAIL

La cartographie de l'intensité de l'aléa "érosion" et des différents types de fonctionnements érosifs, a été réalisée en plusieurs étapes qui vont être développées dans les chapitres suivants. Les principales étapes de l'étude sont schématisées dans le graphique suivant :



- Figure 1 -

Après avoir créé une base de données en sélectionnant les paramètres de l'érosion (Cf. chapitre suivant, p. 15), puis mis au point le modèle (Cf. chapitre, p. 25), la cartographie elle-même a été élaborée en plusieurs temps (Cf. chapitres, p. 31 et 35) :

- 1 - Evaluation de la **sensibilité potentielle des terrains à l'érosion**, établie à partir du croisement de données sur les sols, l'occupation des sols et la pente, à l'échelle des mailles élémentaires de 250 m. Dans cette première étape, il ne sera pas tenu compte des précipitations, pour permettre de localiser l'aléa érosif potentiel directement lié à la qualité du sol et aux types de cultures ;
- 2 - Evaluation de l'**aléa moyen d'érosion saisonnier intégré par unité spatiale (USI)**, obtenue par croisement de la **sensibilité potentielle** avec les précipitations moyennes saisonnières. Pour les terrains fortement sensibles mais sous climat peu pluvieux, l'aléa sera diminué, tandis que pour les régions touchées par des précipitations continues ou intenses, l'aléa sera aggravé. Quatre séries de cartes de l'aléa moyen d'érosion par saison, intégré par cantons, bassins versants, petites régions agricoles et départements seront présentées avec ce rapport.
- 3 - **Zonage typologique des aléas** permettant de localiser les différents types d'érosion et ainsi de rapporter l'intensité de l'aléa au type de fonctionnement érosif. En effet, un aléa fort en zone de vignoble ne représente pas les mêmes conséquences sur le terrain que ce même aléa en zone de grande culture. Ce zonage sera systématiquement associé aux cartes d'intensité de l'aléa.

PARAMETRES DISPONIBLES POUR EVALUER LES FACTEURS DE L'EROSION

Les paramètres qui ont été rassemblés pour cette étude sont issus des couches d'information suivantes :

Pour évaluer l'intensité de l'aléa

- la base de données des sols de France à l'échelle du 1 000 000 (source : INRA) → **Figure 2** ;
- les données d'occupation des sols au 100 000 de CORINE Land Cover (source : IFEN) → **Figure 3** ;
- le modèle numérique de terrain de la France au pas de 250 m (source : IGN) → **Figure 4** ;
- les données météorologiques moyennes mensuelles sur 30 ans du fichier AURELHY au pas de 5 km, et les fréquences moyennes de hauteurs de pluies en 1 heure dépassant certains seuils (source : Météo-France), pour 95 stations → **Figure 5 (a, b)**.

Pour déterminer les types érosifs

- le Recensement général agricole (RGA) de 1988 traité par petites régions agricoles (source : SCEES) → **Figure 6** ;
- la base de données des communes françaises de montagne et de haute montagne (source : ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie - ministère de l'Agriculture et de la Pêche) → **Figure 7**.

LES SOLS

Nature de la couche d'information

La base de données se présente sous la forme d'unités typologiques de sols dont les caractéristiques sont décrites pour un certain nombre de variables (nom du sol, texture de surface, pierrosité, nature du matériau parental, épaisseur du sol, etc.). Ces "unités typologiques" sont regroupées en "unités cartographiques" de sols pour être représentées à l'échelle du 1/1 000 000. En conséquence, toute unité cartographique correspond à une association d'unités typologiques de sols dont on connaît uniquement le pourcentage de surface au sein de chaque association.

Utiliser une cartographie à cette échelle est une limite importante pour apprécier la sensibilité des sols à l'érosion. Cependant, la base de données des sols présente l'avantage d'une source de données homogène sur la France entière. De plus, c'est une source qui a été validée et corrigée par plusieurs experts.

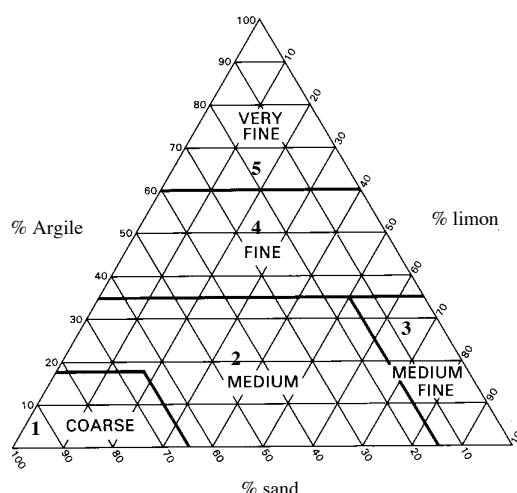
Les variables pertinentes pour cette étude sont dérivées de cette couche d'information à l'aide de règles de pédo-transfert¹ appliquées aux unités typologiques de sols.

Deux informations seront ainsi extraites de cette base de données :

- la sensibilité du sol à la dégradation de sa structure superficielle sous l'action des pluies, communément appelée "**battance**". Cette dégradation, qui est liée à l'instabilité structurale des sols, entraîne une diminution importante de l'infiltrabilité et de la rugosité des sols, permettant au ruissellement de provoquer une érosion diffuse puis de se concentrer à l'aval dans les thalwegs et de former des ravines. La battance est un des facteurs principaux de l'érosion dans les régions de grandes cultures ;
- l'**érodibilité** des matériaux parentaux, qui est un indicateur de la stabilité des matériaux et des sols sus-jacents. La prise en compte de ce critère est surtout importante dans les zones de montagne pour localiser les versants pouvant être affectés par des ravinements et des mouvements de terrains.

La battance

La règle de pédo-transfert mise au point a pour but d'estimer la sensibilité des sols à la formation d'une croûte de battance. Cette règle s'appuie essentiellement sur les informations relatives à la texture des sols. Cependant, nous avons rencontré deux difficultés importantes pour évaluer la sensibilité à la battance : d'une part, le triangle de texture établi pour la base de données européenne ne définit que 5 classes de texture, et la classe "médium" par exemple regroupe des sols à la fois très, moyennement et peu battants (*figure 8*) ; d'autre part, les unités typologiques sont informées de la texture dominante (texture 1) et de la texture secondaire (texture 2) mais la proportion relative et la localisation de ces deux types de texture au sein de chaque unité cartographique ne sont pas connus.



- Figure 8. Triangle des textures -

¹ Règle de pédo-transfert : ce terme est dérivé du concept de "transfert function", défini par BOUMA et Van LANEN (1986). Ces règles permettent d'interpréter une information qualitative contenue dans les paramètres d'une base de données sur les sols, et permettent de définir, à partir de règles de décision empirique, de nouvelles caractéristiques de sol plus complexes ou moins facilement mesurables.

Il est donc relativement difficile de déduire une information précise sur la sensibilité à la battance en particulier pour les unités typologiques à texture dominante de classe 2 (medium) et 3 (medium fine) qui sont justement les plus représentées en France. Nous avons décidé d'utiliser conjointement la texture dominante, la texture secondaire et le matériau parental. Ces deux paramètres complémentaires donnent une indication des tendances régionales, permettant ainsi d'affiner l'information donnée par la texture dominante (les fluvisols étant classés à part du fait de leur position géographique spécifique) (*tableau 1*).

- *Tableau 1. Règles de pédotransfert pour la battance des sols* -

Texture dominante	Texture secondaire	Matériau parental	Type de sol	Battance	Niveau de confiance de la règle de pédotransfert
Grossière	*	*	*	faible	élevé
Moyenne	*	*	*	moyenne	faible
Moyenne fine	*	*	*	moyenne	faible
Moyenne	*	limons-loess	*	forte	faible
Moyenne	*	alluvions	*	forte	faible
Moyenne fine	*	limons-loess	*	forte	faible
Moyenne fine	*	alluvions	*	forte	faible
Moyenne fine	fine	*	*	moyenne	moyen
Moyenne	fine	*	*	moyenne	moyen
Moyenne	grossière	*	*	moyenne	moyen
Fine	*	*	*	faible	élevé
Très fine	*	*	*	faible	élevé
Texture non définie	*	*	*	nulle	élevé
*	*	*	fluvisols	nulle	élevé

Classes de texture

<i>grossière</i>	Argile < 18 % <u>et</u> Sable > 65 %
<i>moyenne</i>	18% < Argile < 35% <u>et</u> Sable > 15% ou : Argile < 18% <u>et</u> 15% < Sable < 65%
<i>moyenne fine</i>	Argile < 35 % <u>et</u> Sable < 15 %
<i>fine</i>	35 % < Argile < 60 %
<i>très fine</i>	Argile > 60 %
<i>texture non définie</i>	Histosols...
*	Toutes les classes

Pour la visualisation des résultats, voir la "Carte de la battance", *annexe 2* → **Figure 9**.

La règle de pédotransfert pour estimer la battance des sols à partir de ces données pourrait rapidement être remise à jour en cas d'amélioration dans les données de base ou dans la connaissance des phénomènes, mais elle est plus ou moins fiable selon les types d'associations de sols. Elle est très approximative dans les zones où les sols sont très contrastés, et pour cette raison, nous avons précisé un "**niveau de confiance**" de la règle de pédotransfert.

La "Carte du degré de confiance", ajoutée à la "Cartographie de la battance", est à regarder avec soin pour l'interprétation des résultats → **Figure 10a**.

Par exemple, un niveau de confiance faible a été attribué lorsque, pour la classe de texture moyenne (la moins précise), on affecte une sensibilité moyenne ou forte à la battance. Par contre, la texture sableuse est classée en sensibilité faible avec un fort degré de confiance.

Ce manque de précision dans l'interprétation de la battance des sols est l'un des principaux facteurs limitants pour une analyse locale de l'évaluation des aléas d'érosion, mais elle n'est pas un frein pour la méthodologie d'une cartographie à l'échelle nationale.

Remarques :

- les fluvisols sont individualisés pour ne pas être traités comme les autres types d'alluvions ou de colluvions. En effet, les fonds de vallées fluviales sont soumis à une érosion forte par les cours d'eau ("remobilisation"), mais ne sont pas concernés par l'érosion de type "agricole" étudiée ici.
- l'**effet de la matière organique** sur la sensibilité des sols à la battance n'a pas été pris en compte dans la règle de pédo-transfert, et ce pour plusieurs raisons. D'une part, cette information n'est pas directement disponible dans la base et son extrapolation par une règle de pédo-transfert ne serait pas suffisamment précise à cette échelle pour être intégrée dans le modèle. D'autre part, il n'existe pas à ce jour de modèle généralisable pour la France de l'effet de la matière organique sur la stabilité structurale des terrains. Enfin, la matière organique peut être variable dans le temps car la quantité contenue dans les sols est liée à leur mode d'utilisation (Le Bissonnais et Arrouays, 1997). On peut considérer que cette information est indirectement intégrée par l'occupation des sols, les sols sous prairies et forêts étant généralement plus riches en matière organique que les terres arables défrichées depuis longtemps ;
- l'information sur **la pierrosité** des terrains, pourtant disponible dans la base de données des sols de France, n'a pas non plus été retenue car ses effets peuvent être ambivalents. L'influence des cailloux vis-à-vis de l'érosion est difficile à appréhender d'une façon systématique, car elle dépend notamment de leur taille, de leur densité et de leur position par rapport à la surface des champs ;
- par contre, il pourrait être intéressant d'utiliser l'information sur **l'épaisseur des sols**, qui est disponible dans la base de données des sols de France, pour mettre l'accent sur le fait que les conséquences de l'érosion, pour un aléa donné, sont plus graves d'un point de vue agricole sur des sols peu épais. Ce paramètre pourrait éventuellement être confronté avec la carte de l'aléa érosion à la fin de l'étude.

L'érodibilité

Le terme "érodibilité" correspond ici à la stabilité et à la cohésion des matériaux parentaux, c'est-à-dire à leur résistance au cisaillement et à leur plus ou moins grande facilité à être mobilisé par le ruissellement ou par des mouvements de masse.

La règle de pédo-transfert établie à partir du type de matériau parental est basée sur le principe que les risques d'érosion ou de mouvements de terrains sont d'autant plus forts que la cohésion est faible.

Généralement, pour les roches consolidées (calcaire, granite, grès...), les risques sont faibles. Pour les roches peu cohésives ou friables comme les schistes, les marnes, les limons, la molasse et les dépôts alluviaux ou glaciaires, les risques sont forts.

- Tableau 2. Règles d'évaluation de l'érodibilité du matériau parental -

Matériau	Erodibilité	Niveaux de confiance
<i>Alluvions</i>	forte	faible
<i>Sédiments fluviatiles anciens (tertiaires)</i>	moyenne	moyen
<i>Terrasses</i>	moyenne	moyen
<i>Roches calcaires</i>	faible	élevé
<i>Calcaire marneux</i>	forte	moyen
<i>Craie</i>	moyenne	moyen
<i>Craie secondaire</i>	moyenne	moyen
<i>Marnes</i>	forte	élevé
<i>Argiles</i>	moyenne	moyen
<i>Matériaux argileux</i>	faible	moyen
<i>Argiles primaires, secondaires et tertiaires</i>	faible	moyen
<i>Roches argileuses</i>	faible	faible
<i>Sables</i>	moyenne	moyen
<i>Sable alluvial ou glacio-fluvial, matériaux sableux et graveleux</i>	forte	élevé
<i>Sable éolien, dépôts locaux</i>	forte	élevé
<i>Roche sableuse</i>	faible	élevé
<i>Limons</i>	forte	élevé
<i>Limons pierreux</i>	moyenne	moyen
<i>Formations détritiques, Arkose</i>	faible	faible
<i>Flysch, molasse</i>	forte	élevé
<i>Roches cristallines</i>	faible	élevé
<i>Schistes</i>	moyenne	moyen
<i>Schiste</i>	forte	moyen
<i>Ardoise</i>	forte	moyen
<i>Roches volcaniques</i>	faible	faible
<i>Autres roches</i>	faible	faible
<i>Matière organique</i>	moyenne	élevé

Pour la visualisation des résultats, voir la "Carte de l'érodibilité", *annexe 2* → **Figure 11**.

L'OCCUPATION DES SOLS

Les données d'occupation des sols proviennent de la base CORINE Land Cover. La cartographie des types d'occupation a été établie à partir de différentes sources : des images satellitaires (Landsat, Spot), des cartes topographiques, des cartes thématiques sur l'occupation des sols, des photos aériennes et des informations statistiques (RGA pour la France, par exemple). **Les dates de l'ensemble de ces sources sont comprises entre 1985 et 1992.** Les informations ne sont donc pas homogènes dans le temps et sont même déjà assez anciennes pour certaines. Le modèle pourra facilement être réactualisé à la suite de la remise à jour de la base.

Dans la base CORINE Land Cover, les types d'occupation des sols sont codés en trois niveaux hiérarchiques → **Figure 12** :

- *le premier* différencie 5 grands ensembles : territoires artificialisés, territoires agricoles, forêts et milieux semi-naturels, zones humides, surfaces en eau ;
- *le second* précise chaque classe ;
- et *le dernier niveau*, très détaillé (44 sous-types), est nécessaire dans cette étude pour tenir compte de quelques cas particuliers ayant un fonctionnement spécifique vis-à-vis de l'érosion.

La cartographie de ces 3 niveaux est extrêmement précise. Les différences paysagères à l'intérieur de chaque niveau n'ont pas toutes été retenues pour cette étude afin de simplifier la mise au point du modèle. A partir de la nomenclature de niveau 1, 2 et 3, les types d'occupation des sols ont été regroupés en 9 classes, chacune ayant un comportement jugé identique vis-à-vis de l'érosion des sols.

Les 9 classes retenues sont les suivantes :

- **les terres arables (211, 212)**, périmètres irrigués ou non ;
- **les prairies et pâturages (231, 321)**, qui ont un rôle stabilisateur et de protection de la surface ;
- **les cultures permanentes (221 à 223)** regroupent les vignes et les vergers, qui ont généralement des comportements érosifs similaires. Lorsque les interrangs sont cultivés, ces cultures entrent dans la catégorie des zones agricoles hétérogènes ;
- **les forêts et les zones arbustives (311 à 313, 322 à 324)**, peu sensibles à l'érosion sauf sur des pentes très fortes et des terrains instables ;
- **les zones agricoles hétérogènes (241 à 244)** regroupent des unités assez différentes mais forment des paysages contrastés : parcellaire morcelé et diversifié, mosaïque de cultures, alternance de prairies, terres cultivées et bois... Cette diversité est un facteur limitant le ruissellement par rapport aux espaces ouverts comme les régions de grandes cultures ;
- **les zones naturelles dégradées (333, 334)** sont des espaces en mutation par disparition de la végétation (végétation clairsemée ou zones incendiées). Ces espaces peuvent être très sensibles à l'érosion sur des matériaux instables, car les sols peuvent être mis à nus sur des pentes parfois très fortes (c'est le cas des bad-lands par exemple) ;
- **les espaces ouverts (331, 332, 335)**, sans végétation : roches nues, glaciers et plages ;
- **les zones humides (411 à 523, 213)** mers, lacs, rivières, marais et rizières ;
- **les territoires artificialisés (111 à 142)**. Pour ces espaces, les processus érosifs sont principalement liés aux aménagements réalisés et ne peuvent pas être pris en compte dans le cadre de cette étude. Ils regroupent les zones urbanisées et industrielles, les mines et les espaces verts urbains.

Le classement obtenu peut être discuté dans le détail, certains types pouvant appartenir à différentes classes selon les régions. Par exemple, les "Landes et broussailles" (n° 322) et les "Forêts et végétation arbustives en mutation" (n° 324) ont été regroupées avec les forêts, mais peuvent parfois être beaucoup plus sensibles à l'érosion que les forêts elles-mêmes, lorsqu'elles offrent un faible couvert végétal sur des sols nus (comme, par exemple, dans le Piémont pyrénéen). De même, certaines nuances pourraient être faites pour la catégorie des "Zones hétérogènes".

Mais à l'échelle choisie, ces modifications ne concerneraient qu'une faible surface et ne modifieraient pas sensiblement les résultats de l'évaluation des aléas. Toutefois, si l'on désire travailler à une échelle plus détaillée, il se peut qu'il soit nécessaire de modifier légèrement ce classement.

Voir aussi la "Carte de l'Occupation des sols" reclassée en 9 classes → **Figure 13**.

LE RELIEF

Nature de la couche d'information

Nous avons utilisé le modèle numérique de terrain (MNT) de la France à la maille de 250 m.

Ce MNT au pas de 250 m nous a également servi à définir le pixel de base de la rasterisation de toutes les couches d'information. En effet, cette unité offre un bon compromis entre la précision requise pour ce travail et le volume des données à traiter.

Cependant, l'utilisation du MNT à la maille de 50 m aurait permis une meilleure estimation des pentes pour les reliefs peu marqués (Haute-Normandie, Bassin parisien) ou dans les régions vallonnées aux versants courts (de longueur inférieure à 1 km), comme dans le Lauragais.

Calcul des pentes

La pente moyenne de chaque maille (en pourcentage) est calculée à partir de la différence d'altitude la plus grande entre cette maille et ses 8 voisines (fonction SLOPE du module GRID d'Arc/Info - Cf. *Bibliographie*).

Pour entrer les valeurs de pentes dans le modèle, nous les avons regroupées en 8 classes. Les seuils des classes ont été choisis en fonction de connaissances de terrain ou de valeurs proposées dans la littérature (Chaplot et Le Bissonnais, 1998). Cependant, **un recalage a été nécessaire du fait du lissage induit par la dimension des mailles du MNT**. En effet, le calcul d'une pente moyenne sur 250 m ne prend pas en compte les petites variations de relief, or celles-ci peuvent être à l'origine d'érosion dans les régions de faibles pentes. Les limites des classes retenues, en particulier pour les pentes faibles, sont donc inférieures aux valeurs de références qui correspondent à des mesures ponctuelles. Cette précision n'est plus nécessaire pour les pentes moyennes ou fortes, le relief local n'ayant qu'un effet secondaire par rapport à la pente moyenne.

Les classes de pentes qui ont été retenues sont les suivantes :

0-1 % ; 1-2 % ; 2-5 % ; 5-10 % ; 10-15 % ; 15-30 % ; 30-75 % ; > 75 %.

Pour la visualisation du résultat, voir la "Carte des Pentes" → **Figure 4**.

Les 3 premières classes, de 0 à 5 %, permettront de distinguer les différentes intensités de l'aléa dans les zones de grandes cultures. Sur ces terrains, lorsque les sols sont sensibles à la battance, une petite augmentation locale de pente peut être à l'origine de dégâts importants. A l'opposé, les classes de pentes > 30 % permettent d'individualiser les zones de montagne.

Chacune de ces classes correspond à une situation caractéristique et se justifie par l'interaction entre les facteurs explicatifs de l'érosion. Citons quelques exemples :

- des pentes de 0 à 1 % comme par exemple dans les Landes ou la Beauce, représentent des zones trop planes pour être le siège d'érosion ;
- si les versants ont une pente de 2 à 5 %, on peut trouver des traces de griffures ou d'érosion rill-inter rill sur les versants et une concentration du ruissellement dans les talwegs ;
- des glissements de terrains peuvent se déclencher sur des pentes supérieures à 30 % dans certaines conditions, lorsque la stabilité des matériaux parentaux est faible comme par exemple sur des substrats tels que la molasse, les schistes ou les argiles glacio-lacustres.

Remarques :

- ces valeurs de seuils ne sont que très indicatives car à cette échelle de travail, on ne peut pas différencier les terrains produisant du ruissellement et les zones de concentration des eaux. Par exemple, un talweg de 1 à 2 % de pente, situé à l'aval d'un bassin versant aux pentes moyennes de 5 à 10 %, peut être concerné par des phénomènes d'incision linéaire grave, tout en étant lui-même en pente faible ;
- il aurait été intéressant de prendre en compte la longueur des versants comme facteur aggravant ou limitant de l'érosion des sols, mais le MNT au pas de 250 m ne permet pas de faire ressortir les versants courts. Ceci pourrait être envisagé dans la suite de cette étude en utilisant un MNT au pas de 50 m.

LE CLIMAT

La pluie est le facteur principal de l'érosion hydrique. L'érosivité de la pluie dépend essentiellement de sa hauteur et de son intensité. On a donc cherché à combiner ces deux paramètres pour caractériser cette érosivité.

Les hauteurs moyennes mensuelles de précipitations sur 30 ans

Les données climatiques de base se présentent sous la forme d'une information ponctuelle (stations météorologiques). Météo-France a développé une méthode (AURELHY) pour spatialiser ces données, qui tient compte de "l'environnement topographique" des stations météo (situation de col, de crête, de vallée, etc.) et du relief (gradient d'altitude). Elle est appliquée sur le réseau primaire des stations, c'est-à-dire environ une par département, dont les données sont très fiables et disponibles au pas de temps journalier sur une trentaine d'années. La carte résultante se présente sous la forme d'une couche informatique maillée au pas de 5 km avec une valeur de hauteur de pluie moyenne par pixel.

Ces valeurs de hauteurs de précipitations moyennes ont ensuite été reclassées en quintiles (normalisés sur les 4 saisons) pour chaque saison climatique : un quintile de précipitations moyennes, 2 quintiles de précipitations inférieures à la moyenne, et 2 quintiles de précipitations supérieures à la moyenne.

L'intensité des précipitations

Les données disponibles pour cette étude sont des fréquences moyennes (en nombre de jours par mois) de hauteurs de pluie en 1 heure dépassant certains seuils de hauteurs (*annexe 5*). Nous avons retenu la fréquence moyenne par saison des hauteurs de pluies supérieures ou égales à **15 mm en 1 heure**. Ce choix offre un bon compromis entre une bonne précision et une discrimination suffisante pour faire ressortir les fortes intensités des pluies de la zone méditerranéenne → **Tableau 3**.

Ces valeurs sont ponctuelles et sont données pour 95 stations météorologiques (environ une par département). Elles ont été généralisées sur tout le territoire à l'aide d'une interpolation linéaire (en mode maillé), calculée à partir des valeurs des 10 points voisins. On obtient ainsi une carte des fréquences de pluies supérieures à 15 mm en 1 heure, maillée au pas de 5 km, couvrant tout le territoire → **Figure 5 (a et b)**.

La combinaison des hauteurs et des intensités de précipitations

Pour tenir compte à la fois des hauteurs et des intensités de précipitations, nous avons utilisé une méthode permettant de **pondérer les hauteurs de précipitations avec les intensités**. Les valeurs de hauteurs de pluies sont d'abord classées en 5 classes (quintiles normalisés pour les quatre saisons).

Les valeurs de fréquences sont elles regroupées en 3 classes, correspondant à des seuils d'intensités "faibles", "moyennes" et "fortes". Après superposition de ces deux cartes, la logique suivante est adoptée :

- lorsque l'intensité est faible, la classe de précipitation reste identique à celle des hauteurs de pluies ;
- lorsque l'intensité est moyenne, on augmente la classe de précipitations d'un niveau par rapport à la classe des hauteurs ;
- lorsque l'intensité est forte, on augmente la classe de précipitations de 2 niveaux (les pixels se trouvant déjà dans la classe 5 ne changent pas).

On obtient ainsi une carte pour chaque saison, combinant hauteurs et intensités des précipitations selon 5 classes.

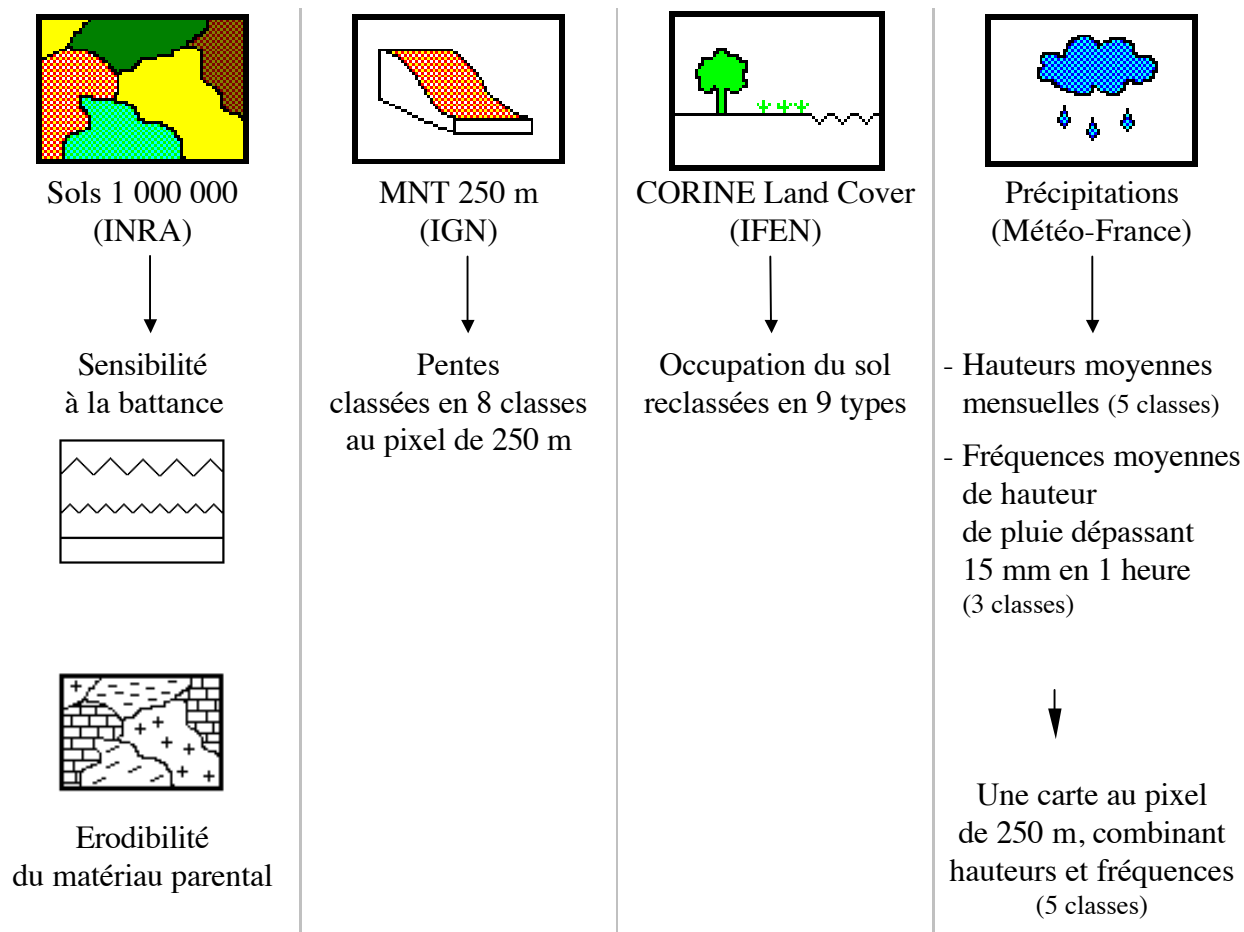
LES TYPES DE CULTURE

Les données du RGA de 1988 sont intégrées dans le modèle pour définir les types érosifs mais n'ont pas été utilisées pour évaluer l'intensité de l'aléa érosion. L'information est fortement simplifiée car elle présente une classe de pourcentage de surface de "cultures d'hiver", "cultures de printemps" et "cultures permanentes" au sein de chaque Petite Région Agricole (PRA).

L'ancienneté de cette source de données reste un inconvénient mais, à l'échelle de la France, l'intégration de données plus récentes ne devrait pas modifier beaucoup le résultat global de la carte de typologie de l'érosion des sols.

Par contre, les données du RGA auraient aussi pu être utilisées pour améliorer l'évaluation de l'intensité de l'aléa pour les différentes saisons par l'intégration des types de cultures dans le modèle. Ceci pourra être envisagé lorsque le prochain RGA (prévu pour 1999) sera disponible.

Voir "Diagramme synthétique résumant les traitements des données de base effectués"
→ **Figure 14**



- Couches d'information disponibles et paramètres extraits
à partir des données de base-

CARACTERISTIQUES DU MODELE

PRINCIPES DE BASE

Type de modèle

L'outil développé n'est pas un modèle "mathématique" ni un modèle mécaniste. Il s'agit plutôt d'un **modèle "cognitif"**, c'est-à-dire qu'il représente un fonctionnement d'une façon simplifiée en utilisant des règles qualitatives, comme les règles de pédo-transfert, et des évaluations et hiérarchisations de paramètres, basées sur la connaissance d'experts.

Le modèle doit être complet mais assez **souple**, pour présenter une synthèse des phénomènes érosifs la plus cohérente et objective possible, et pour être éventuellement modifié lors de la mise à jour des couches d'information. Il doit permettre la combinaison de données à **différentes résolutions** spatiales, et il doit également permettre la présentation des résultats selon **différentes unités spatiales**, administratives ou physiographiques, pour répondre à un besoin d'aide à la décision à différentes échelles.

Le modèle mis au point utilise une méthode de croisement de paramètres sous forme de **combinaisons logiques**. A chaque combinaison est affectée un code de sensibilité à l'érosion des sols. Les **paramètres sont hiérarchisés et pondérés** à partir des connaissances actuelles sur les différents types de fonctionnements érosifs. Le modèle est donc **qualitatif**, puisqu'il est établi à partir de connaissances d'experts, et il est représentable sous la forme d'une **arborescence logique** (*annexe 1* → **Figure 15**) où chaque croisement de facteurs entraîne plusieurs réponses possibles, chacune excluant l'autre (si une condition est réalisée, alors tel résultat, sinon tel autre résultat...).

Cette méthode a été préférée aux méthodes plus classiques telle que celle basée sur l'équation de Wischmeier (1976), car celle-ci a été mise au point pour s'appliquer à une échelle locale et elle nécessite des calages de terrain et des informations précises non disponibles à l'échelle de la France. De plus, l'équation de Wischmeier ne prend pas en compte les différents types d'interactions possibles entre les paramètres du modèle. Elle n'intègre pas l'évolution de la dégradation du sol dans le temps en fonction des précipitations (formation d'une croûte de battance), ni les différents types érosifs des zones agricoles françaises.

Prise en compte des différents types érosifs

La difficulté majeure de la mise au point du modèle est de **prendre en compte, dans un modèle unique applicables sur tout le territoire, les différents types érosifs** connus en France.

Pour cela, nous nous sommes appuyés sur la typologie des systèmes érosifs décrite au paragraphe "*Typologie des aléas érosifs*" (page 10), qui hiérarchise les paramètres explicatifs principaux de chaque type érosif. L'aléa affecté à chaque combinaison de facteurs dans le modèle, est estimé à partir de notre connaissance de terrain des différents processus.

Nous avons procédé en 2 étapes :

- *Dans un premier temps*, un modèle a été établi pour chaque type érosif, suivant quelques principes de base :
 - respecter, pour chaque type érosif, la hiérarchie des facteurs explicatifs ;
 - pour les types d'érosion en zones de grandes cultures, nous avons insisté sur l'importance de la sensibilité des sols à la battance, même sur des pentes très faibles. les sols étant à nu pendant de longues périodes de l'année, la battance est reconnue comme le facteur déterminant pour la genèse et la concentration du ruissellement. Ainsi, pour des terres arables dont les sols sont très sensibles à la battance, il suffit d'une pente de 5 % pour que l'aléa érosif soit estimé fort ;
 - pour le vignoble, les aléas sont évalués en combinant les pentes et la sensibilité des sols à la battance ;
 - dans les zones d'agriculture de montagne, lorsque les pentes sont supérieures à 30 %, la sensibilité à l'érosion dépend principalement de l'érodibilité des terrains.
- *Dans un deuxième temps*, les différents modèles typologiques ont été rassemblés en un modèle global (*annexe 1* → **Figure 15**), et les niveaux d'aléas ont été ajustés pour relativiser la gravité d'un type par rapport à l'autre. Par exemple, les sols faiblement couverts à certaines époques ou en permanence (grandes cultures et cultures permanentes) sont plus sensibles à l'érosion que des espaces couverts (forêts, prairies). Les zones hétérogènes ont une sensibilité intermédiaire.

Ainsi sont pris en compte tous les types érosifs et leurs différentes conséquences en terme d'aléa. Les différents modèles typologiques sont imbriqués les uns dans les autres ;

Par exemple, le modèle "érosion de montagne" est visible dans tous les niveaux d'aléa pour lesquels la pente est supérieure à 30 %, quelle que soit l'occupation des sols. Les modèles "érosion de printemps-été" et "érosion d'automne-hiver" sont visibles dans les arbres partant des occupations des sols "terres arables" et "zones hétérogènes". Le modèle "érosion de vignoble et vergers" est visible dans l'arbre partant de l'occupation des sols "cultures permanentes", et la haute montagne correspond aux "espaces ouverts".

Les problèmes de calage dus à la diversité des types de fonctionnements érosifs et des paysages français, donnent certainement des résultats de moins bonnes qualités que si l'étude n'avait concerné qu'un seul type d'érosion ou une seule région homogène. Ainsi, l'aléa peut parfois être sur ou sous-estimé dans certaines régions. Néanmoins, cette méthode appliquée pour tout le territoire permet des comparaisons interrégionales, ce qui était rarement possible jusque-là, les études sur l'érosion étant principalement locales voire régionales.

Application de la méthode

Pour pouvoir appliquer le modèle, chaque couche d'information est d'abord rasterisée selon une maille unique pour homogénéiser les différentes échelles des sources de données et pouvoir ainsi les croiser spatialement. **Les cartes qui seront obtenues après application du modèle seront donc maillées au pas de 250 m**, pixel défini par la plus petite unité spatiale informée (maille du modèle numérique de terrain). Certaines couches d'information, comme CORINE Land Cover, perdront en précision car certaines unités sont plus précises que le pixel de 250 m. Certaines autres couches, comme les sols par exemple, qui contiennent des unités cartographiques de sols (UCS) de plusieurs centaines de km² seront divisées en pixels de 250 x 250 m. Cette opération ne doit pas faire croire à une augmentation de la précision de la carte des sols, car chaque pixel ne reflète qu'une toute petite partie des UCS, elles-mêmes formées d'unités typologiques de sols (UTS) caractérisant un "paysage pédologique" dans son ensemble. C'est pour cette raison essentielle que les cartes obtenues par le modèle ne seront pas présentées par pixels mais seront intégrées par unités spatiales pour lisser les erreurs intrinsèques à la représentation par pixel de certaines couches.

Après la superposition géographique des différentes couches d'information, le modèle a été appliqué en 2 temps :

- tout d'abord, le modèle permet de caractériser **la sensibilité potentielle des terrains à l'érosion**, en combinant les couches d'information sur les sols, l'occupation des sols et la pente ;
- ensuite, cette information est combinée avec les précipitations pour relativiser la sensibilité intrinsèque des sols, en augmentant ou diminuant l'aléa selon les hauteurs et les intensités de pluie plus ou moins élevées. L'information obtenue est enfin intégrée par unité spatiale, ce qui permet de produire la **carte de l'aléa moyen d'érosion**.

LA SENSIBILITE POTENTIELLE DES TERRAINS A L'EROSION → FIGURE 15

L'établissement d'un modèle sous forme arborescente implique de déterminer l'ordre d'entrée des paramètres dans l'arborescence. Nous avons choisi une hiérarchie privilégiant d'abord les facteurs sur lesquels les activités humaines peuvent avoir une influence.

Premier facteur : l'occupation des sols d'après CORINE Land Cover (9 classes)

Dans une logique "décisionnelle" ou d'aménagement, ceci permet, en partant d'un type d'occupation du sol, de voir l'aléa qui peut lui être associé. Cette donnée offre aussi l'avantage d'être la couche d'information qui possède la résolution la plus fine et de permettre un zonage fiable et bien caractérisé pour tous les types d'occupation du sol.

Second facteur : la battance (4 classes)

Après l'occupation du sol, c'est le paramètre le plus facilement modifiable par l'homme (par exemple : en agissant sur le type de travail du sol, le calendrier cultural ou l'apport d'amendements). C'est un facteur déterminant pour l'importance de l'érosion dans les régions de grandes cultures.

Troisième facteur : les pentes (8 classes)

Les 8 classes sont elles-mêmes regroupées en un nombre plus petit de classes, différentes selon le type érosif concerné.

Quatrième facteur : l'érodibilité des terrains (3 classes)

Ce facteur ne sera pris en compte que pour les pentes fortes (> 30 %) pour faire ressortir l'érosion de type montagne et les mouvements de terrains. Afin de simplifier le modèle, l'érodibilité n'intervient pas pour les pentes plus faibles, considérant que dans la plupart des cas, le facteur battance est prédominant.

Remarque :

Comme nous l'avons déjà évoqué, l'importance donnée à la battance dans le modèle vient du fait que le point de départ de cette étude était la caractérisation de l'aléa érosion dans les grandes zones agricoles. Cependant, la cartographie devant être exhaustive, nous avons dû tenir compte des zones non agricoles ou à forte pente pour lesquelles l'érodibilité des matériaux parentaux est un paramètre important de l'érosion.

A la suite de ce croisement de facteurs, on définit 5 classes d'aléa (très faible, faible, moyen, fort, très fort), exprimant la **sensibilité "agro-pédo-géomorphologique" potentielle**.

Remarque :

L'intensité de l'aléa affecté dans le modèle peut paraître arbitraire du fait de la prise en compte dans le modèle de tous les types d'aléas érosifs. En région à relief peu marqué, comme dans le nord de la France, les phénomènes érosifs se traduisent par la formation de ravines ou d'atterrissements plus ou moins importants, tandis que les phénomènes érosifs méditerranéens ou montagnards sont d'une toute autre nature. Or les mêmes classes d'intensité de l'aléa servent à désigner la gravité de ces phénomènes très différents. C'est principalement pour cette raison que nous avons décidé par la suite de compléter systématiquement les cartes de l'aléa par une carte de la typologie des aléas.

L'ALEA MOYEN EROSION : INTEGRATION DES HAUTEURS ET DES INTENSITES DE PRECIPITATIONS

Les aléas moyens érosion pour chaque saison sont obtenus par croisement de la sensibilité potentielle des terrains avec la hauteur de pluie cumulée correspondante et la fréquences des pluies supérieures à 15 mm en une heure.

*Pour la classe médiane, l'aléa érosion affecté correspond à la sensibilité des sols, évaluée hors influence de la pluie. Les 2 classes inférieures diminuent l'aléa par rapport à la sensibilité moyenne des sols ; pour la classe 1 par exemple, l'aléa ne dépasse jamais le niveau "moyen". Les 2 classes supérieures aggravent l'aléa érosion : sur des terrains peu sensibles, de fortes précipitations peuvent déclencher du ruissellement, et sur des terrains sensibles, l'aléa devient "très fort". Les classes de précipitations étant calculées pour les quatre saisons, **une carte d'aléa est mise au point pour chaque saison.***

Voir les "Cartes de hauteurs de pluies combinées aux intensités" → **Figures 16 (a, b, c, d).**

Remarques :

- **le cumul des précipitations d'une saison à l'autre n'a pas été pris en compte** dans le modèle, ce qui entraîne un biais dans l'interprétation des résultats de l'aléa par saisons : par exemple en hiver, des petites précipitations peuvent être à l'origine de problèmes, car le sol saturé ruisselle très vite, alors qu'au début de l'automne la même précipitation sur un sol moins humide n'aura pas les mêmes conséquences. De même, au début du printemps, les surfaces concernées par les cultures de printemps sont restées à nu tout l'hiver et une croûte de battance épaisse, donc très imperméable, peut provoquer des ruissellements catastrophiques si la parcelle n'a pas été retravaillée. Au total, les aléas peuvent être considérés comme plus forts en hiver et au printemps dans les zones où les cultures de printemps sont fortement représentées, que ceux prévu par le modèle. La prise en compte de cet aspect temporel dans le modèle pourrait cependant être envisagée pour la suite de l'étude ;
- par ailleurs, nous n'avons pas non plus tenu compte des **précipitations sous forme de neige** qui n'entraînent pas de ruissellement instantané mais dont l'effet à retardement peut être important.

INTEGRATION DE L'ALEA EROSIF PAR UNITES SPATIALES D'INTEGRATION (USI)

Chaque couche d'information utilisée dans le modèle est rasterisée à la maille de 250 m. Ceci nous a permis de combiner spatialement des données n'ayant pas la même échelle initiale. Nous avons vu que pour la carte des sols, mailler l'information de base entraînait une augmentation "apparente" de la précision, alors que chaque maille n'était en fait que le reflet d'une unité de sol moyenne plus vaste. Pour cette raison, les résultats du modèle doivent, pour être interprétés correctement, être intégrés selon une unité spatiale lissant l'erreur due au maillage des couches d'informations les moins précises.

De plus, l'intégration permet de réaliser un "transfert d'échelle" pour passer d'une information par maille à une description synthétique, faisant ressortir des unités plus globales et plus facilement lisibles. En effet, ce travail étant destiné à des décideurs régionaux ou nationaux, les résultats doivent être présentés sous une forme lisible à l'échelle de la France pour permettre à la fois une visualisation rapide des problèmes, et des comparaisons interrégionales.

CHOIX DE L'UNITE SPATIALE D'INTEGRATION

Les unités spatiales d'intégration doivent avoir une résolution suffisamment fine pour ne pas trop simplifier l'information, être lisibles et faire ressortir des unités homogènes.

Plusieurs unités peuvent être envisagées :

- des **unités de fonctionnement des processus : les bassins versants**, qui permettent de délimiter l'extension spatiale des systèmes érosifs. Cette USI offre l'avantage de visualiser l'aléa à l'échelle où se déroulent les processus ;
- des **unités agricoles homogènes : les PRA**, au sein desquelles la variabilité spatiale des facteurs de l'érosion pris en compte dans le modèle (types de cultures, caractéristiques du milieu) est relativement faible ;
- des **unités administratives : commune, canton, département, région**. Elles permettent la confrontation avec d'autres sources d'information disponibles selon le même découpage et elles correspondent à des unités décisionnelles.

- Tableau 4. Caractéristiques des différentes unités spatiales d'intégration envisageables -

Type	Nombre	Avantages	Inconvénients
<i>Commune</i>	36 000	Délimitation administrative. Petites surfaces, assez homogènes. Peu de perte d'information lors de l'intégration. Les couches RGA et coulées de boue sont informées par communes.	Ne correspondent pas à une unité physique de fonctionnement érosif. Leurs petites surfaces entraînent un risque d'erreur fort dans l'appréciation des aléas. Découpage peu lisible à l'échelle de la France (émiettement).
<i>Bassin versant</i>	4667 (pour le seuil choisi ici)	Caractérisent des unités de fonctionnements (collecte du ruissellement).	Problème du choix de la taille du bassin élémentaire.
<i>Canton</i>	3665	Délimitation administrative. Unités spatiales assez homogènes. Plus grand que la commune, c'est une bonne unité d'intégration vu l'échelle des données traitées.	Ne correspondent pas à une unité physique de fonctionnement érosif.
<i>PRA (Petite Région Agricole)</i>	713	Caractérisent bien les unités agricoles et les pédo-paysages. C'est une bonne unité pour cartographier les phénomènes érosifs. Dans la logique du modèle (délimitation par l'occupation du sol).	Problème de représentation cartographique car leurs surfaces peuvent être très variées. Variabilité spatiale intra-PRA forte pour les plus grandes.
<i>Département</i>	95	Unité décisionnelle. Permet une vision d'ensemble rapide à l'échelle de la France.	Grande simplification de l'information. Variabilité spatiale intradépartementale forte.
<i>Région</i>	22	Unité administrative. Peut offrir une vue d'ensemble rapide à l'échelle de la France ou de l'Europe.	Encore plus grande simplification de l'information et variabilité intra-régionale très forte.

Nous avons choisi d'intégrer les résultats du modèle par bassins versants, cantons, petites régions agricoles et départements, chaque unité présentant un intérêt :

- l'intégration par *bassin versant* permet de garder un niveau de précision assez fin tout en offrant l'avantage d'une délimitation fonctionnelle correspondant aux unités de fonctionnement des processus. La procédure d'extraction automatique des bassins à partir du MNT a été développée par A. Couturier et A.-L. Thomas (INRA d'Orléans) sous Arc/Info, à partir de la méthode mise au point par C. Depaetere (ORSTOM Montpellier) dans le module "Topase" du logiciel de traitement MNT "Demiurge". Cette méthode avait été testée sur 2 régions et nous l'avons appliquée sur toute la France ;
- les *PRA* sont des unités représentatives de l'homogénéité du paysage agricole, elles sont suffisamment petites pour ne pas être trop hétérogènes, et restent peu nombreuses à l'échelle de la France, l'information est donc lisible facilement ;
- les *cantons* sont des unités d'intégration plus fines que les PRA et permettent de connaître les aléas plus en détail. Ils restent clairement lisibles à l'échelle de la France, mais ne correspondent pas à des unités de fonctionnement des processus ;
- l'intégration par *département* est aussi présentée pour donner une idée des résultats de l'application du modèle selon cette unité. Celle-ci pourrait éventuellement être utilisée si on appliquait le modèle à l'échelle de l'Europe. Cependant, la généralisation limite beaucoup l'intérêt des résultats et il serait en outre nécessaire d'adapter la règle d'intégration et la définition des classes présentée ci-après.

Les résultats de l'intégration par communes et par régions ne seront pas présentées car les communes sont des unités trop petites et entraînent un risque d'erreur fort dans l'appréciation de l'aléa, et pour les régions, l'aléa est beaucoup trop généralisé pour avoir un sens et donner lieu à une interprétation.

Les cartes des aléas d'érosion intégrées par PRA sont présentées en *annexe 2* et les résultats intégrés sur les autres unités spatiales se trouvent sur le CD-Rom, selon la nomenclature ci-dessous.

Voir aussi la liste des PRA classées par noms et niveaux d'aléas en *annexe 4*.

	Printemps	Été	Automne	Hiver
<i>Bassins versants</i>	fig. 17 a	fig. 17 b	fig. 17 c	fig. 17 d
<i>PRA*</i>	fig. 18 a	fig. 18 b	fig. 18 c	fig. 18 d
<i>Cantons</i>	fig. 19 a	fig. 19 b	fig. 19 c	fig. 19 d
<i>Départements</i>	fig. 20 a	fig. 20 b	fig. 20 c	fig. 20 d

* Cf. *Annexe 2* pour les figures 18 (a, b, c, d).

METHODE D'INTEGRATION

L'intégration automatique des aléas par USI est réalisée à l'aide d'une règle de décision prenant en compte les pourcentages de surfaces de chaque classe d'aléa dans l'USI. Les seuils de pourcentages de chaque classe à partir desquels est affecté une certaine valeur d'aléa ont été choisis à partir de l'analyse des résultats du modèle.

Le tableau ci-dessous résume la méthode utilisée par la règle de décision et les seuils d'aléas utilisés pour l'intégration :

- Tableau 5. Méthode d'intégration de l'aléa dans l'Unité spatiale d'intégration -

Ordre de priorité	Pourcentage de surface de l'aléa dans l'USI	Code de l'aléa affecté à l'USI
n° 1	Aléa 1 $\geq 88\%$ ou aléa 45 $\leq 1\%$ ou aléa 345 $\leq 5\%$	<i>très faible</i>
n° 2	Villes $\geq 50\%$	<i>zones urbaines</i>
n° 3	Espaces ouverts $\geq 21\%$	<i>haute montagne</i>
n° 4	Surfaces en eau $\geq 44\%$	<i>zones humides</i>
n° 5	Sans information $\geq 20\%$	<i>pas d'information</i>
n° 6	Aléa 5 $\leq 7\%$ ou $2\% \leq$ aléa 45 $\leq 12\%$ ou $6\% \leq$ aléa 345 $\leq 20\%$	<i>faible</i>
	$8\% \leq$ aléa 5 $\leq 11\%$ ou $13\% \leq$ aléa 45 $\leq 20\%$ ou $21\% \leq$ aléa 345 $\leq 28\%$	<i>moyen</i>
	$12\% \leq$ aléa 5 $\leq 17\%$ ou $21\% \leq$ aléa 45 $\leq 28\%$ ou $29\% \leq$ aléa 345 $\leq 39\%$	<i>fort</i>
	Aléa 5 $\geq 18\%$ ou aléa 45 $\geq 29\%$ ou aléa 345 $\geq 40\%$	<i>très fort</i>

Ordre de priorité : lorsqu'une USI peut prendre plusieurs valeurs d'aléa, c'est l'aléa correspondant à l'ordre de priorité le plus fort qui est retenu. Pour l'ordre de priorité 6, c'est l'aléa le plus fort qui est retenu en cas de possibilité multiple.

Pourcentage de surface de l'aléa dans l'USI : le modèle considère les pourcentages de surfaces des codes 1, 5, 4+5, 3+4+5, des villes, des espaces ouverts, des surfaces en eau, et des surfaces non informées.

Code de l'aléa

aléa 1	aléa très faible
aléa 45	aléa fort + aléa très fort
aléa 345	aléa moyen + aléa fort + aléa très fort
aléa 5	aléa très fort

Aléa affecté à l'USI

Pour les ordres de priorité 1 et 6, au moins une des trois possibilités doit être réalisée pour que le code de l'aléa soit affecté.

Exemple : l'aléa 5 (très fort) est affecté à l'USI si le pourcentage de l'aléa 5 est supérieur à 18 %, **ou** si la somme des aléas 4 + 5 est supérieur à 29 %, **ou** si la somme des aléas 3 + 4 + 5 est supérieur à 40 %.

Ainsi, l'aléa intégré par unité spatiale sera très fort :

- soit lorsque **l'intensité de l'aléa** est très fort pour un petit nombre de pixels ($>18\%$) ;
- soit lorsqu'un **nombre important de pixels** présenteront un aléa au moins moyen (40 %) ou fort (29 %).

La règle de décision, intégrée dans le modèle et obtenue à partir de ce tableau, est présentée en *annexe 3* → **Figure 21**

CARTOGRAPHIE DE LA TYPOLOGIE DES ALEAS

Le modèle d'intensité de l'aléa érosif que nous avons mis au point est basé sur la typologie des aléas présentée dans le chapitre "Méthode et étapes du travail" mais cette typologie n'apparaît pas explicitement sur les documents cartographiques représentant cet aléa, il était donc nécessaire de compléter ces cartes par un document illustrant la répartition spatiale de cette typologie.

De plus cette typologie s'appuie sur des informations qui ne sont pas utilisées pour évaluer l'intensité de l'aléa : les types de culture issues du RGA, et la délimitation des zones de montagne.

PREPARATION DES DONNEES DU RGA NECESSAIRES A L'ETABLISSEMENT DE LA CARTE TYPOLOGIQUE

Les informations sur les types de culture sont tirées du Recensement général de l'agriculture de 1988. Elles ont été regroupées et se présentent sous la forme d'un tableau indiquant le pourcentage de surface des cultures de printemps, d'hiver, de vignoble et de verger, par rapport à la superficie des terres cultivées dans chaque PRA. Ces données sont déjà anciennes, et l'on sait que des évolutions parfois importantes ont pu avoir lieu depuis ce recensement, mais l'information retenue est assez générale pour ne pas perdre trop de signification à l'échelle de la PRA. De plus, cette information ne sert qu'à donner une idée du type de culture dominant dans une région, pour établir une carte typologique qui délimitera de grands ensembles.

Nous avons décidé de rapporter la surface des cultures de printemps et d'hiver à la surface des terres cultivées par PRA et non pas à la surface complète de la PRA. Ce calcul permet d'éliminer les espaces non concernés par l'érosion des sols (zones urbaines, surfaces en eau...), et de ne caractériser le type d'aléa que dans les zones cultivées.

La surface des terres cultivées est calculée à partir de la base de données CORINE Land Cover, par addition des terres arables, des zones hétérogènes et des cultures permanentes.

On obtient ainsi trois cartes :

- pourcentage des cultures de printemps par rapport à la surface cultivée des PRA → **Figure 22** ;
- pourcentage des cultures d'hiver par rapport à la surface cultivée des PRA → **Figure 23** ;
- et pourcentage des vignes et vergers par rapport à la surface cultivée des PRA → **Figure 24**.

Voir les cartes en *annexe 2*

DELIMITATION DES ZONES DE MONTAGNE

La délimitation des zones de montagne et de haute montagne est établie à partir du zonage administratif des communes de montagne (décret n° 76-395 du 28 avril 1976 sur la délimitation des zones agricoles défavorisées, et directive CEE 75/268 article 3) :

"Les communes ou parties de communes peuvent être classées en zone de montagne si le territoire classé répond à l'une des conditions suivantes, considérées comme génératrices de difficultés d'exploitation agricole :

- être situé à une altitude supérieure à 600 m dans le massif Vosgien et à 700 m dans les autres massifs,*
- avoir une pente moyenne au moins égale à 20 %.*

Lorsqu'il y a combinaison de ces deux facteurs, les caractéristiques sont une pente moyenne de 15 % et une altitude minimale de 500 m."

Pour le classement des communes en zone de haute montagne, 2 conditions doivent être réunies : altitude moyenne de la commune > 1200 m et moins de 20 UGB (Unités de Gros Bétail) par km².

Les données sont disponibles sous forme d'un tableau listant les communes Françaises appartenant à la zone de montagne, de haute montagne ou de zones défavorisées (CEMAGREF).

SYNTHESE DES DONNEES UTILISEES POUR ETABLIR LA CARTE TYPOLOGIQUE

Le type érosif représenté sur la carte de la typologie des aléas est obtenu à partir du croisement de 4 couches d'information.

Les types d'espaces agricoles

Cette catégorie différencie les zones hétérogènes des zones de grandes cultures, dans la partie cultivée de la PRA. Leurs surfaces sont calculées à partir de CORINE Land Cover.

Ces deux espaces sont différenciés pour souligner que les aléas en zones hétérogènes ont été évalués dans le modèle comme moins importants que dans les zones de grandes cultures, du fait d'un parcellaire plus morcelé et de la présence d'éléments limitant le ruissellement sur les versants (talus, haies...).

Les espaces non agricoles sont aussi représentés sur la carte : zones urbaines, zone de haute montagne, surfaces en eau et sans information. Lorsqu'ils sont majoritaires dans les USI, ces espaces sont cartographiés tels quels.

Les types de cultures

L'information, tirée du RGA, est simplifiée pour ne garder que 2 valeurs possibles :

- la PRA est classée en "cultures de printemps" lorsque leur proportion dans la zone cultivée est supérieur à 30 % ;
- la PRA est classée en "cultures d'hiver" lorsque leur proportion dans la zone cultivée est supérieur à 30 %.

Ces 2 premiers seuils ont été arbitrairement choisis car la cartographie des PRA ayant plus de 30 % de cultures de printemps ou d'hiver correspond bien au type d'aléa (de printemps ou d'hiver) dominant dans la PRA, du point de vue de l'importance des dégâts.

Le RGA a aussi été utilisé pour extraire les zones de vignoble et de vergers :

- la PRA est classée en "cultures permanentes" lorsque la proportion de celle-ci dans la zone cultivée est supérieur à 5 %. Le seuil de 5 % paraît faible, mais la cartographie des PRA ayant au moins 5 % de cultures permanentes correspond bien aux problèmes connus dans les zones de vignobles.

Voir les "Cartes du RGA" → **Figures 22, 23, 24**

Ces types peuvent se recouper dans l'espace, comme par exemple dans le bassin parisien où certains espaces peuvent avoir plus de 30 % de cultures de printemps et d'hiver. Dans ce cas, les types d'aléas seront combinés.

La zone de montagne

Cette couche est formée de 2 "masques" : la zone de haute montagne, non étudiée ici, et la zone de montagne (figurée en hachures) qui peut comporter des espaces agricoles et dont le type de ceux-ci apparaît sous les hachures.

L'intensité de l'aléa

Cette information est tirée de la carte de l'aléa intégré par PRA, et reclassée en 2 classes :

- **aléa faible** sur la carte typologique = aléas très faible à faible sur la carte de l'aléa ;
- **aléa fort** sur la carte typologique = aléa moyen à très fort sur la carte de l'aléa.

Légende de la carte typologique

Les différents types érosifs obtenus sont les suivants :

- 1 - Type grandes cultures de printemps.
- 2 - Type grandes cultures d'hiver.
- 3 - Type mixte grandes cultures de printemps et d'hiver.
- 4 - Type cultures permanentes.
- 5 - Type mixte cultures permanentes et grandes cultures.
- 6 - Type zones hétérogènes.

Voir la "Carte typologique" → **Figure 25**

L'intensité des aléas est différenciée pour chacun de ces types : le même aléa d'intensité forte ou faible est représenté de la même couleur mais en teinte sombre ou claire.

Le zonage typologique fait aussi apparaître les zones de montagne et de haute montagne ainsi que les surfaces en eau et les zones urbaines.

ANALYSE DES RESULTATS

Pour analyser les résultats obtenus par le modèle, nous nous sommes appuyés sur des études régionales relatives à l'érosion des sols, sur des avis d'experts ainsi que sur les résultats de l'étude des coulées de boue en France, réalisée en 1996, qui a consisté d'une part à recenser les événements de type "coulée boueuse" et à les cartographier, et d'autre part à présenter une synthèse bibliographique sur les documents et ouvrages traitant de l'érosion et des moyens de lutter contre ses effets.

LA BASE DE DONNEES DES COULEES DE BOUE EN FRANCE → Figure 26

Cette base de données a été établie à partir des dossiers d'indemnisation des victimes des catastrophes naturelles. Elle recense les événements de type coulées de boue¹, pris dans le sens d'un "écoulement fortement chargé en sédiments provenant des surfaces cultivées et entraînant des particules de sol", ayant causé des dommages aux implantations humaines. Les phénomènes érosifs sont mal représentés lorsque la vulnérabilité est faible (zones peu urbanisées). Elle ne tient pas compte des glissements de terrain ou des laves torrentielles, ces événements n'appartenant pas au domaine de l'érosion agricole.

Pour l'ensemble de ces raisons, cette base de données n'est pas une représentation exhaustive des problèmes d'érosion en France. Elle permet cependant d'avoir une première idée de la distribution spatiale de l'érosion catastrophique depuis 1988. Elle fait ressortir des régions aux problèmes particulièrement graves, lorsque les coulées de boue touchent des habitations à l'aval des zones cultivées.

Malheureusement, **les résultats de l'inventaire des coulées de boue n'ont pas encore été validés pour chaque région**. Les phénomènes naturels ne sont pas toujours bien définis dans les dossiers, et une certaine quantité d'événements cartographiés peuvent par exemple correspondre à des crues de rivières. Ainsi, ils n'ont pas pu être retenus pour une confrontation avec les résultats de la modélisation. Par contre, les dossiers régionaux réalisés dans cette étude nous ont servi pour commenter certains résultats du modèle en s'appuyant sur les connaissances actuelles des phénomènes érosifs en zone agricole.

¹ Rappel de la note n°1 : le terme "coulée de boue", employé notamment dans les dossiers d'indemnisation des victimes des catastrophes naturelles, est très ambigu. Il n'est pas utilisé ici dans son sens géomorphologique traditionnel (écoulements torrentiels en montagne, ou mouvements de masses), mais comme un écoulement fortement chargé en sédiments provenant des terres cultivées et entraînant des particules de sol. Ce phénomène est donc particulier aux espaces agricoles. Nous avons cependant conservé la terminologie "administrative".

COMMENTAIRES DES RESULTATS DE LA CARTOGRAPHIE DES ALEAS EROSIFS PAR REGIONS AGRICOLES

La visualisation simultanée des cartes de l'aléa par saison met bien en évidence la variabilité saisonnière de l'aléa érosion mais aussi l'existence de région systématiquement concernées. Les résultats de l'aléa intégré par PRA pour chaque saison montrent que plusieurs unités se détachent :

- les régions fortement touchées par l'aléa érosion des sols en toutes saisons (le nord, l'est du Bassin Parisien, la vallée du Rhône, le Sud-Ouest),
- les régions modérément touchées, ou pour lesquelles l'aléa érosion existe pour certaines saisons seulement (le pourtour méditerranéen, le Poitou-Charentes et la Bretagne),
- les régions qui ne sont pratiquement pas concernées par l'aléa érosion.

Les trois régions du Nord-Ouest de la France (Nord - Pas-de-Calais, Picardie, Haute-Normandie)

Ces trois régions sont très concernées par l'aléa érosion des sols en toutes saisons. Malgré les faibles pentes, les sols sont très sensibles à la battance et largement cultivés. L'érosion est d'autant plus une menace que les sols sont laissés à nu pendant une longue période et que les précipitations sont importantes. L'érosion en hiver concerne plutôt le nord et le pourtour est du bassin parisien, tandis que le centre du Bassin Parisien est touché à la fois au printemps et en hiver.

Dans l'ensemble, l'aléa le plus fort correspond aux terrains très arrosés et limoneux en bordure du littoral, ou aux pentes un peu plus prononcées, comme les collines de l'Artois.

La **Haute-Normandie** est fortement sensible aux problèmes d'érosion au nord de la Seine, où les faibles pentes suffisent à créer des problèmes graves sur ces sols très battants (Boiffin *et al.*, 1986 ; Papy et Douyer, 1991 ; Ouvry, 1992). Le sud de la région est beaucoup moins touché car les pentes sont très faibles.

On note également un aléa important dans le **Pas-de-Calais** (surtout en automne). Autour de Lille, des cantons ressortent en aléa faible et moyen et quelques coulées de boue ont été déclarées. Ici, l'aléa érosion est assez faible mais la vulnérabilité liée à l'urbanisation est forte.

Les collines nord du Boulonnais (PRA 59024) ressortent aussi en aléa fort en toutes saisons, bien qu'il y ait eu peu de coulées de boue. Les risques existent (King *et al.*, 1991), mais la vulnérabilité est certainement moindre que dans le reste de la région.

On remarque aussi un ensemble d'aléa fort au sud de la **Picardie** et nord de l'Ile de France (PRA 02336, 51335, 77336...) où l'érosion, bien connue dans ce secteur, est dévastatrice (Derville, 1994 ; Devaux, 1995). De la solifluxion en masse et des glissements de terrains sont même possibles.

La couronne Est du Bassin parisien (Ile-de-France, Champagne, Bourgogne)

Dans ces régions alternent un aléa fort sur sols limoneux cultivés, et des espaces sans érosion couverts de forêts (généralement sur les fronts plus abrupts des cuestas) ou sur des sols peu sensibles à la battance.

L'Ile-de-France

Cette région est touchée par l'érosion sur grandes cultures et sols fortement battants, surtout en hiver. De plus, la vulnérabilité liée à la concentration urbaine de la grande banlieue est forte. Par exemple : au nord et au nord-ouest de l'agglomération parisienne, les sols limoneux ou sableux sont peu stables et les pentes non négligeables.

Par contre, au sud de Paris, l'aléa cartographié est faible alors qu'une forte concentration de coulées de boue a été relevée. Mais la forte urbanisation a imperméabilisé de vastes surfaces, entraînant des problèmes d'origine plutôt urbaine.

La Champagne et le nord de la Bourgogne

On peut distinguer 2 cas différents pour les problèmes d'érosion dans ces régions :

- **l'érosion sur versants assez raides** ou sur sols peu stables ; par exemple le Pays d'Othe (PRA 10319) et la région de Sens, sur pentes raides. Au centre de la Champagne, l'aléa est moins fort. Au sud d'Auxerre, la battance des sols est peut-être surestimée par la règle de pédo-transfert, et l'aléa érosion est certainement surestimé par le modèle, d'autant plus que l'occupation des sols est hétérogène. De même, à l'est de la région Bourgogne, l'aléa est sans doute surestimé par l'importance des précipitations hivernales dans ce secteur.
- **l'érosion dans le vignoble** : elle est liée à l'instabilité des sols ou du substratum des territoires viticoles. Par exemple : sur la montagne de Reims, les problèmes sont importants et se manifestent par de nombreuses coulées de boue et des glissements de terrain sur les versants raides (Ballif et Herre, 1984 ; Morfaux, 1989 ; Pommier, 1995). Par contre, dans les vignobles du mâconnais et de la Côte Chalonnaise (PRA 71444 et 21441), qui présentent des problèmes d'érosion (Litzler, 1988 ; Durousset, 1994), l'aléa n'apparaît que faiblement sur la carte. La battance est certainement sous-estimée. De plus la longueur des pentes, à l'origine des problèmes dans ces régions, n'est pas prise en compte dans le modèle.

Dans le vignoble du Jura (PRA 207), des coulées de boue et des glissements de terrain peuvent se produire, mais l'aléa reste modéré en toutes saisons. Peu de coulées de boue se sont produites car des aménagements de protection ont été mis en place depuis longtemps dans le vignoble. Le reste de la région n'est pas très exposé aux phénomènes érosifs, du fait d'espaces agricoles hétérogènes ou forestiers.

Les Alpes et la vallée du Rhône

Les Alpes

Les unités spatiales d'intégration (USI) apparaissant en gris sont des espaces de haute montagne (altitude moyenne supérieure à 1 200 m). Les autres zones de montagne présentent toutes un aléa plus ou moins fort de phénomènes catastrophiques montagnards (coulées de débris, ravinements sur fortes pentes, laves torrentielles, glissements de terrains...). On peut remarquer la zone d'aléa fort en toutes saisons dans les Alpes du sud (PRA 04460 et 06250) autour de Barcelonnette, ou de forts mouvements de masses se développent sur les flysch et les marnes noires.

La vallée du Rhône

Les risques dans la vallée sont forts, surtout au printemps et en automne, mais l'intégration spatiale de l'aléa fait mal ressortir les différentes unités morphologiques, décrites ci-dessous.

La Côtère de Dombes (PRA 01201 et 69195) est classée en aléa fort et est fortement touchée par les coulées de boue. Les problèmes viennent du fait qu'il y a des sols battants cultivés sur le plateau et des pentes fortes à l'aval sur lesquelles se concentre le ruissellement. On remarque une forte proportion de cultures de printemps, particulièrement sensibles en cette saison pluvieuse.

Le Bas-Dauphiné et la Bresse au nord présentent un aléa érosion fort. L'aléa dans ces deux régions est peut-être surestimé, car les sols limoneux battants sont situés au sommet des collines ou des plateaux, et non sur les versants. Les versants sont souvent recouverts de prairies ou de forêts, ce qui limite l'érosion sur les pentes fortes. Cependant, les coulées de boue sont nombreuses dans le Bas-Dauphiné.

Le Beaujolais (PRA 69444) est aussi très affecté toute l'année par l'érosion dans le vignoble. Les problèmes sont connus et des politiques de lutte contre l'érosion ont été mises en place depuis longtemps (Pellet, 1993).

Par contre, la carte de l'aléa ne fait pas ressortir la vallée du Couzon (PRA n° 445) entre le département de la Loire et du Rhône, où des problèmes existent, car la battance et l'érodibilité des matériaux sont considérés comme faibles. En réalité, les fortes précipitations de printemps et d'été et les pentes raides suffisent à créer des problèmes dans ce secteur.

Au nord de la Drôme (PRA 26242), l'étude sur les coulées de boue avait déjà fait ressortir cette zone peu connue comme étant sensible à l'érosion, et le modèle confirme cette sensibilité pour le printemps et l'automne. C'est un paysage vallonné couvert de sols battants et dont les cultures de printemps représentent 30 à 50 % des cultures. Le vignoble et la zone agricole le long du Rhône sont des zones un peu moins sensibles, mais l'aléa reste fort (sauf en hiver) bien que les coulées de boue sont moins nombreuses.

Sur les bords du lac Léman, les coulées de boue ne sont pas très nombreuses, mais le modèle et les experts consultés à ce propos, mettent l'accent sur cette zone à risque où des ruissellements peuvent survenir sur les versants, les sols étant battants. Le faible nombre de coulées de boue déclarées dans ce secteur relève sûrement du fait que la vulnérabilité à l'aval reste assez faible.

Le Sud-Ouest (Aquitaine et Midi-Pyrénées)

Ces régions méridionales présentent de vastes zones à risques très forts, notamment à cause des précipitations très élevées en particulier sur les reliefs.

La Gascogne

L'aléa très fort et largement répandu s'explique par une grande sensibilité des sols à la formation d'une croûte de battance, ou par la présence de sols sableux à forte détachabilité. De plus, les cultures sont installées sur des collines aux pentes marquées (plus de 50 % de cultures de printemps dans les zones cultivées), et les précipitations sont élevées et agressives en toutes saisons. Les coulées de boue y sont aussi nombreuses, mais les dommages subis par les collectivités sont plus limités que les dégâts aux territoires agricoles.

Le vignoble bordelais

En Aquitaine, l'aléa érosion dans les vignobles existe mais est peu intense (mise à part en hiver), ce qui est bien rendu par le modèle. Un bon nombre de coulées de boue ont quand même été répertoriées, surtout au mois de juin (quelques gros événements orageux ont été à l'origine de nombreux dégâts).

La culture de la vigne n'est pas le facteur principal du déclenchement de l'érosion, même si elle peut localement aggraver la sensibilité au ruissellement. L'érosion s'explique plutôt par une combinaison de pentes assez fortes et de sols sensibles à la battance.

La région de Toulouse

Dans cette région, l'aléa est sous-estimé par le modèle, et de nombreuses coulées de boue ont été déclarées (même si certaines correspondent sûrement à des inondations). Ceci vient du fait que les précipitations moyennes saisonnières sont faibles, mais que les problèmes d'érosion dans cette région s'expliquent par la combinaison de violents orages et d'une forte proportion de cultures de printemps. Les sols ne sont pas sensibles à la battance (d'où la faiblesse de l'aléa d'après le modèle), mais le ruissellement prend naissance dans les zones où la molasse affleure ou sur les terrasses anciennes recouvertes de lambeaux de limons.

Le relief est aussi un facteur primordial, parfois mal pris en compte par le modèle : par exemple dans le Lauragais (PRA 31391), les versants sont raides mais courts (de 250 m à 1 km). Le MNT à la maille de 250 m ne rend pas compte de la pente réelle des versants dans cette région. Les cultures se trouvent sur des versants en pentes assez fortes (10 à 20 %), sur des parcelles qui occupent souvent toute la longueur du versant, et le ruissellement n'est pas arrêté par des obstacles qui coupent le versant. Il y a donc sous estimation des risques pour ce secteur (Revillon, 1984 ; Dubucq, 1989).

L'Aveyron

Une zone de forte sensibilité apparaît dans ce département. Les aléas peuvent être de 2 types :

- un aléa de type montagne, suivi par le service RTM de la région. Les pentes sont fortes et les conditions climatiques méditerranéennes sont à l'origine d'orages violents et de fortes précipitations au printemps et en automne ;
- l'aléa de la zone des "rougiers de Camarès" (PRA 412). Des cultures fourragères se trouvent sur des versants en pente forte (pentes dominantes entre 20 et 40 %), les sols sont naturellement sensibles et peu épais et le substrat est très friable (alternance de faciès schisteux et argilo-marneux). Le défrichement de ces terrains depuis 40 ans est à l'origine des nombreux problèmes d'érosion : 80 % des terres cultivées sont affectées par une érosion en nappe et on remarque aussi de l'érosion en rigoles, en ravines et en bad-lands (Guillerm, 1994 ; Barthès *et al.*, 1997).

Le modèle fait ressortir l'aléa fort en toutes saisons dans ce secteur. Cependant, la zone des rougiers de Camarès est peu étendue, or l'aléa fort touche une large superficie. Il est donc certainement surestimé en surface.

Le Centre-Ouest (Aquitaine nord, Poitou-Charentes et Limousin)

La région de Limoges

Une zone d'aléa fort apparaît autour de Limoges, et on a pu y constater quelques coulées de boue. En fait, l'aléa n'est pas connu dans ce secteur et le modèle le surestime à cause de précipitations relativement fortes en toutes saisons. Mais surtout la quantité de matière organique dans ces terrains étant forte, les sols sont très stables. De plus, les espaces agricoles sont hétérogènes et le paysage n'est pas spécialement favorable à l'érosion.

Plus à l'ouest, la zone de vignoble autour d'Angoulême est estimée en aléa fort en automne-hiver par le modèle, mais aucune coulée de boue n'y a été recensée et la sensibilité des terrains n'est pas très connue des experts. Les hauteurs de précipitations mensuelles y sont pourtant importantes, mais l'érosion lié à des orages paraît hypothétique dans ce secteur.

Le sud du Limousin

L'aléa est faible mais une grosse concentration de coulées de boue met en évidence des problèmes de stabilité du substrat. En effet, des glissements de terrain et de la solifluxion peuvent survenir lorsque des pluies très fortes saturent les argiles, qui glissent alors facilement ou chargent les rivières de boue (Meynier, 1961 ; Soulier, 1995). Toutefois ce ne sont pas des phénomènes d'origine agricole.

La plaine de Niort

Les PRA 371 et 79366 sont en aléa très fort, mais aucune coulée de boue n'a été déclarée ici. L'aléa est certainement surestimé, peut être du fait de l'importance des précipitations.

La Bretagne

Une partie de la région est affectée par une érosion principalement de printemps, modérée mais générale, notamment érosion en nappe sur sols limoneux (Ceresa, 1987). Les phénomènes catastrophiques sont rares malgré un certain nombre de coulées de boue déclarées dans toute la région. Le modèle a tendance à sous-estimer l'aléa au printemps car il ne tient pas compte des cultures de printemps qui représentent 15 à 30 % des terres cultivées, particulièrement sensibles à l'érosion lorsqu'une croûte de battance épaisse recouvre les sols à la fin de l'hiver (Cros-Cayot, 1996). Par contre pour les autres saisons, le modèle surestime l'aléa, surtout au centre de la région, car les sols ont généralement de fortes teneurs en matière organique, qui a pour effet d'améliorer la stabilité structurale des sols et donc de limiter l'érosion.

L'aléa fort, cartographié au nord-ouest (PRA n° 29361 et 29358), correspond aussi à une forte concentration de coulées de boue. Celles-ci ont pour origine les cultures légumières plantées sur des pentes plutôt faibles, mais fortement arrosées et laissant les sols à nu pendant une bonne partie de l'année.

La zone méditerranéenne et la Corse

L'aléa dans ces régions n'apparaît pas à première vue comme très important, à part en automne, vu l'importance des précipitations à cette saison. L'érosion est cependant d'autant plus importante qu'elle résulte d'averses intenses survenant en été et plus fréquemment en septembre octobre, après une longue période sèche. Des averses d'automne peuvent par exemple atteindre une intensité d'environ 50 mm/h pour une averse d'une heure (durée de retour : 5 ans).

De même, l'érosion peut être localement catastrophique, et développer des bad-lands, mais ces phénomènes très locaux n'apparaissent pas à cette échelle. Néanmoins, on peut remarquer quelques régions sensibles.

Le vignoble dans la région Languedoc-Roussillon

Le vignoble couvre une très grande superficie dans cette région, et il est souvent continu sur les versants et parfois planté sur des pentes fortes. Les sols sont peu battants à l'échelle de la France, mais ils peuvent être assez instables localement, notamment à cause de la dessiccation du sol sous l'effet de l'alternance de périodes très sèches et de fortes pluies (Le Dain, 1988).

La plaine de l'Hérault est peu sensible à l'érosion car les pentes sont faibles, mais les experts ont noté des signes érosifs localement sur certaines parcelles.

La région Provence-Alpes-Côte d'Azur

La région Provence-Alpes-Côte-d'Azur étant fortement montagneuse, l'aléa cartographié est essentiellement de type montagne, c'est à dire charriage torrentiel et mouvements de masse, ou de type cultures permanentes.

De nombreuses coulées boueuses ont été notées entre Cannes et Nice sur le littoral, et on remarque un aléa d'érosion faible ou moyen d'après le modèle (sauf en été), qui coïncide avec les mêmes espaces.

La Corse

L'aléa en Corse n'est pas très important car l'agriculture ne couvre pas de grands espaces. On note tout de même un aléa en automne-hiver dans la plaine d'Aléria et dans les vignobles des coteaux de la côte est, qui coïncident avec de nombreuses coulées de boue. Les sols sont peu stables, et le contact entre la montagne et la plaine est abrupte. Les villages situés aux débouchés des torrents sont parfois touchés par des coulées, mais ce ne sont pas des phénomènes d'origine agricole, bien que les parcelles plantées en vigne puissent parfois accentuer le ruissellement. L'aléa est à classer dans le type "montagne" (coulées de débris notamment), bien que la typologie du modèle fasse ressortir la zone en type "cultures permanentes" du fait de l'assez forte proportion de la vigne dans les zones cultivées.

Le Massif central, les Landes, la Basse-Normandie, les Pays de la Loire et l'Est (Alsace et Lorraine)

Ces régions ne sont pratiquement pas touchées par l'érosion (aléa très faible), soit du fait de l'occupation des sols (forêts, prairies), soit à cause des pentes faibles. On remarque néanmoins quelques problèmes locaux parfois mal mis en évidence par le modèle.

L'Alsace

L'aléa érosion sur grandes cultures de printemps est bien connu dans le sud de l'Alsace (le Sundgau, PRA 68450 et 68303). Le problème majeur vient de la sensibilité des sols à la formation d'une croûte de battance (sols limoneux).

Les problèmes liés aux coulées de boue dans le vignoble alsacien ne ressortent pratiquement pas sur la carte de l'aléa intégré, mis à part 2 cantons en aléas faibles pour chaque saison, qui correspondent justement à deux zones très sensibles. Sur la carte non intégrée (non présentée dans ce rapport), on distingue seulement une ligne de pixels à aléa faible ou moyen le long du vignoble. Ceci vient peut-être du fait que le vignoble est situé pour une faible proportion sur des pentes fortes. De plus, le MNT lisse les pentes et a tendance à les sous-estimer dans des secteurs comme celui-ci, qui se trouve à la limite entre des versants très raides et une plaine sans aucun relief. Ceci explique la faible proportion de mailles en aléa fort dans la PRA 67304 et donc un aléa intégré pratiquement nul. De plus, les précipitations moyennes annuelles sont faibles dans ce secteur, et ce sont les orages d'été de forte intensité qui sont à l'origine des problèmes dans le vignoble Alsacien.

L'Auvergne

C'est une région montagneuse, fortement boisée et herbagère, sauf dans la plaine de la Limagne, mais les cultures étant sur des terrains plats, il n'y a pratiquement pas de risques d'érosion.

On peut noter tout de même que des glissements de terrains surviennent parfois au sud du Cantal sur des pentes raides et sous l'effet de fortes pluies, mais il n'apparaît que quelques cantons en aléa "faible", car l'érodibilité du matériaux parental est classé "nulle" dans le modèle (elle est certainement sous-estimée à cet endroit).

La Basse-Normandie

C'est une région principalement couverte de prairies et de zones agricoles hétérogènes, excepté la plaine de Caen, bien mise en cultures et qui peut être sensible à l'érosion localement au printemps et en automne-hiver, sur les terrains en pentes. On a recensé une trentaine de coulées de boue dans ce secteur, mais qui pourraient aussi être des inondations boueuses plutôt que de l'érosion de terres agricoles.

Une petite zone à cheval sur la Basse-Normandie, la région Centre et les Pays de la Loire (le "faux Perche") est sensible, du fait de la battance des sols dans ce secteur. On y observe une érosion chronique insidieuse, mais pas catastrophique dans les cultures, en automne-hiver. Cependant, il n'y a pas de coulées de boue déclarées dans ce secteur, peut-être du fait d'un parcellaire morcelé et du drainage des sols, qui limite efficacement le ruissellement et l'érosion.

Les Pays de la Loire

Le long de la Loire à l'est (PRA 49347), l'aléa érosion est très faible d'après le modèle, or on a recensé d'assez nombreuses coulées de boue, qui prendraient naissance sur les coteaux cultivés en vigne. Le facteur principal de déclenchement de l'érosion est ici la pente. Mais le modèle combinant des pentes modérées, des sols moyennement battants et des précipitations moyennes faibles, ne rend compte que d'une petite superficie de terrains à risques. La battance est peut-être sous-estimée dans ce secteur.

Au nord-est de la région (PRA 72351), les risques sont faibles, mais quelques coulées de boues ont été déclarées. Cette région connaît effectivement des problèmes d'érosion sur des sols sableux à forte détachabilité, sous l'effet de pluies intenses et sous orages (Dufour *et al.*, 1990).

Tableau récapitulatif des résultats du modèle

Le tableau suivant récapitule les commentaires donnés par région et recense les principales régions pour lesquelles l'aléa est, d'après l'avis d'experts, surestimé ou sous-estimé.

On a classé les régions dans le tableau par ordre des plus mal estimées aux régions faiblement sous ou surestimées en rappelant sommairement les raisons probables de la mauvaise estimation par le modèle.

- Tableau 7. Tableau récapitulatif des résultats du modèle -

ALEAS SOUS-ESTIMES	ALEAS SURESTIMES
Bretagne <i>Sous-estimés au printemps : il y a beaucoup de cultures de printemps, donnée non prise en compte par le modèle.</i>	Bretagne <i>Surestimés en automne-hiver du fait de la non prise en compte de la matière organique (qui stabilise les sols) dans le modèle.</i>
Vignoble alsacien <i>Sous-estimés du fait de la faible extension spatiale du vignoble et des faibles précipitations moyennes.</i>	Ouest du Piémont pyrénéen <i>Peut-être surestimés, notamment à cause des fortes précipitations en toutes saisons.</i>
Lauragais (est de Toulouse) <i>Sous-estimation de l'intensité des pentes du fait de la maille du MNT à 250 m.</i>	Région d'Angoulême et Niort <i>surestimés en automne-hiver du fait de la surestimation de la battance (non prise en compte de la teneur en matière organique des sols notamment).</i>
Vignoble de Touraine <i>Sous-estimation de la battance, et concentration du vignoble sur les coteaux non prise en compte</i>	Nord et nord-est de la Bourgogne <i>Surestimés du fait des fortes pluies, de la surestimation de la battance et de la non prise en compte du paysage agricole.</i>
Vignoble mâconnais et côte chalonaise <i>sous-estimation de la battance ; la longueur des pentes n'est pas prise en compte dans le modèle.</i>	Le Bas-Dauphiné et la Bresse <i>Surestimation de la battance. L'occupation des sols est assez contrastée pour limiter les problèmes de ruissellement.</i>
	Aveyron, zone des Rougiers de Camarès <i>Aléas certainement surestimés en étendue.</i>
	Sud du lac Léman <i>Peut-être un peu surestimés du fait de la non prise en compte du paysage agricole.</i>

Une carte de "corrections d'expert" a été dessinée manuellement à partir de ce tableau. Elle est donnée sur transparent en *annexe 6* → **Figure 27**, et permettra au lecteur de la superposer aux cartes d'aléa par saisons pour pondérer les résultats du modèle dans les zones relativement mal estimées.

VALIDATION DES RESULTATS

Un travail d'une telle ampleur à l'échelle d'un grand territoire nécessite des procédures strictes d'évaluation et de **validation**. Cependant, ces procédures de validation devraient nécessiter autant si ce n'est plus de travail que l'élaboration du produit lui-même.

On peut distinguer plusieurs voies pour valider un tel travail :

- 1 - *Un premier examen* consisterait en une analyse de la propagation des erreurs au cours des différents traitements réalisés sous Système d'Information Géographique (SIG). Il s'agit d'estimer les erreurs (incertitudes) contenues dans chaque couche d'information, puis d'estimer leur cumul au sein du système expert. On peut distinguer les erreurs sémantiques et les erreurs géométriques.

Une analyse de sensibilité du modèle est alors un moyen de cerner les variables les plus importantes et de proposer des méthodes nouvelles d'acquisition de ces données. Cette analyse de sensibilité du modèle n'a pas été réalisée dans le cadre de ce travail, cependant les sources d'erreur et les incertitudes sur les différentes couches d'information ont été indiquées ;

- 2 - *Une deuxième voie* pourrait être d'appliquer la méthode sur des secteurs tests où l'on connaît les informations de façons plus précises. Des régions comme le Nord - Pas-de-Calais, la Haute-Normandie ou le Languedoc-Roussillon disposent de telles informations. Cela pose le problème de l'accessibilité aux données et de l'élaboration de procédures de gestion et de traitements importantes.

Cette étape pourrait correspondre à une implication plus forte d'experts régionaux dans la démarche de validation, ce qui devrait conduire à terme à la mise en place d'un **réseau de correspondants locaux**. Cette démarche est en train de se mettre en place pour la région Haute Normandie et le Sud-Ouest de la France ;

- 3 - *Une troisième voie* serait de comparer directement les résultats issus de cette étude à des données sur l'érosion elle-même acquises par d'autres voies. En particulier, une confrontation avec le fichier des catastrophes naturelles concernant les **coulées de boue** mettrait en évidence les zones de désaccord. Un approfondissement des travaux sur ces zones permettrait de se focaliser sur des situations difficiles.

On pourrait ainsi réviser le système expert lui-même ou acquérir des informations plus précises pour effectuer une réelle validation.

Cependant, comme nous l'avons vu précédemment¹, la confrontation des résultats avec les cartes de coulées de boue ne constitue pas réellement une validation. D'une part, l'érosion n'entraîne pas toujours de coulées de boue (même si celles-ci sont un témoin de l'érosion des sols) et d'autre part, cet inventaire des coulées est incomplet et très biaisé, notamment à cause de la définition imprécise de la coulée de boue.

En définitive, **on ne peut donc pas considérer que le modèle soit strictement validé à ce stade du travail** et il est nécessaire de se référer aux commentaires du chapitre précédent sur les différentes régions ainsi qu'au tableau et à la carte des corrections experts (*annexe 6*). A court terme, le modèle sera testé sur un espace plus restreint (Haute-Normandie) avec des données plus précises, pour évaluer les erreurs d'approximation liées à la base de données des sols ou à la maille du modèle numérique de terrain. Des contrôles de terrain seront également effectués.

¹ Voir la "*Discussion sur les risques de coulées de boues d'origine agricole*" du ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, § 7.1.

BILAN ET PERSPECTIVES

BILAN DE L'ETUDE

Les avantages liés aux choix de la méthode

L'originalité de la méthode mise au point lors de cette étude a permis de développer une cartographie présentant un certain nombre d'avantages :

- l'utilisation d'une démarche unique pour cartographier l'aléa érosion à l'échelle nationale permet des **comparaisons interrégionales** qui n'étaient pas possible jusque-là ;
- la prise en compte des différents types d'aléas dans un modèle unique permet de mieux rendre compte des différents phénomènes érosifs connus. La comparaison de la carte de la typologie avec celles de l'intensité de l'aléa permet de **connaître à la fois le type d'aléa** caractérisant chaque petite région agricole **et son intensité** ;
- la mise au point d'une **cartographie saisonnière** permet de connaître l'importance de l'aléa au cours des différentes périodes de l'année. Cette approche permet de tenir compte des interactions entre climat et types de culture dans la détermination de l'aléa. Par exemple, ceci permet de faire ressortir un aléa plus fort en zone méditerranéenne en été et en automne, un aléa plus faible au printemps et en été pour la Bretagne ;
- l'intégration de l'aléa selon différentes **unités spatiales d'intégration** permet d'adapter la cartographie aux besoins des utilisateurs ;
- la souplesse du modèle permet de **remettre facilement à jour les données** périmées et offre la possibilité de **simuler** l'évolution des aléas pour des scénarios de changement climatique ou de changement dans l'occupation des sols.

Les difficultés rencontrées

Les limites de cette étude viennent principalement de la faible précision de certaines données de base :

- la faible précision de la carte pédologique au 1/1 000 000e entraîne des évaluations assez grossières des sols à l'échelle d'un pixel de 250 m, et donc des estimations de la battance assez peu fiables dans la règle de pédo-transfert. Ceci est l'un des principaux points faibles de l'étude ;
- le pas du MNT à 250 m n'est parfois pas suffisant pour estimer correctement les pentes ;
- les données de CORINE Land Cover et du RGA ne sont plus très récentes.

Une autre limite importante, mais qui pourrait être contournée par la suite, est la non prise en compte de l'évolution de la teneur en eau du sol et de l'évolution des croûtes de battance de plus en plus imperméables au cours de l'année, en fonction des précipitations.

PERSPECTIVES

Pour un certain nombre de points, ce travail pourrait être approfondi, soit pour améliorer et préciser la modélisation en prenant en compte de nouveaux paramètres, soit pour lever certaines incertitudes dans les résultats. On peut évoquer les améliorations possibles suivantes :

- **prendre en compte l'effet cumulé des précipitations** au cours des saisons sur la formation d'une croûte de battance et l'imbibition des sols ;
- **réactualiser les données** anciennes du RGA de 1988 ;
- **intégrer les données du RGA dans le modèle** pour estimer les aléas en fonction du pourcentage de surface des PRA en cultures d'hiver et de printemps. Ainsi, les aléas seraient estimés forts au printemps dans les zones de fortes précipitations, qui ont eu le temps de développer une croûte de battance, pour les PRA à forte proportion de cultures de printemps ;
- **intégrer de nouveaux paramètres** dans le modèle, comme la longueur des pentes, l'épaisseur des sols, la pierrosité des terrains ou la teneur en matière organique. Pour cette dernière, la cartographie n'est pas disponible actuellement pour la France entière, mais certaines estimations de la matière organique (tirées de règles de pédo-transfert) sont disponibles, quoique peu précises.

Il est aussi possible, à partir des résultats obtenus, de continuer l'étude selon différents axes :

- **effectuer des zooms** sur certaines régions **en employant des données plus précises**, comme par exemple une carte des sols au 100 000e ou un MNT au pas de 50 m. Travailler à cette échelle pourrait permettre de prendre en compte la longueur des versants, la teneur en matière organique, la densité du drainage, la taille des parcelles, etc. Les résultats du modèle à cette échelle pourraient alors devenir utilisables par les acteurs locaux de l'aménagement et de la protection des sols ;
- **appliquer le modèle à l'échelle de l'Europe**, avec les mêmes réserves que celles faites dans cette étude pour l'interprétation des résultats ;
- faire des **simulations** sur l'influence de changements de climat ou d'occupation des sols.

BIBLIOGRAPHIE

- ADRET, 1987 - *Maîtrise du ruissellement et de l'érosion hydrique des sols dans les coteaux du Sud-Ouest*. Rapport du ministère de l'Environnement et ministère de l'Agriculture, 36 p.
- AUZET A.-V., 1987 - *L'érosion des sols par l'eau dans les régions de grande culture : aspects agronomiques*. Centre d'Études et recherches Éco-géographiques, ministère de l'Environnement et ministère de l'Agriculture, 60 p.
- AUZET A.-V., 1987 - *L'érosion des sols cultivés en France sous l'action du ruissellement*. Annales de géographie, n° 537, sept.-oct. 1987, p. 529 - 556.
- BALLIF J.-L., HERRE Ch., 1984 - *Etude du ruissellement et de l'érosion dans le vignoble champenois*. INRA, Châlons-sur-Marne, 76 p.
- BARTHES B., DE NONI G., GUILLERM C., ROOSE E., 1997 - *Pratiques culturales et érosion hydrique dans les rougiers de Camarès (Aveyron, France)*. In "Réseau érosion", bull. n° 17 : "Erosion en montagnes semi-arides et méditerranéennes", ORSTOM, p. 145-151.
- BERMUDEZ FL., ESCUDERO J.D.G., 1982 - *Estimacion de la erosion y aterramientos de embalses en la cuenca hidrografica del rio Segura*. in "Cuadernos de investigacion", tomo VIII, fasciculos 1 - 2, Logrono, Colegio Universitario de la Rioja.
- BIAGI B., 1986 - *Development of a database of land characteristics and computerized analysis of actual and potential land degradation risks*. In "Soil erosion of the european community", G. Chisci & RPC Morgan (eds), Rotterdam, Balkema.
- BOIFFIN J., PAPY F., EIMBERCK M., 1988 - *Influence des systèmes de culture sur les risques d'érosion par ruissellement concentré*. "I - Analyse des conditions de déclenchement de l'érosion". Agronomie, 8 (8), p. 663-673.
- BOUMA J., Van LANEN H.A.J., 1986 - *Transfert functions and threshold values : from soil characteristics to land qualities*. In "Proceedings of the international workshop on quantified land evaluation procedures", 27/04 - 2/05/1986, Washington DC. USA, p. 106-110.
- BRIGGS D.J., BRIGNALL P., WILKES A., 1989 - *Assessing soil erosion risks in the mediterranean region: the Corine program of the European Community*. Proc. Workshop Wageningen, 1988, Van LANEN & BREGHT (eds) Publication of the EC, Luxembourg, p. 195-200.
- BRUNET R., 1957 - *L'érosion accélérée dans le Terrefort Toulousain*. Revue de Géomorphologie Dynamique, tome VIII, n° 3-4, p. 33-40.
- CADEVILLE G., VOGT H., 1995 - *Fragilité des terres agricoles*. In "Atlas de France, milieux et ressources", vol. 6, La Documentation française, p 108 - 112.
- CANARD M., DAMAREE A., 1988 - *Phénomènes d'érosion des surfaces agricoles, Pyrénées Atlantiques* (juin 1988). Mémoire de licence d'Aménagement, Univ. de Pau et des Pays de l'Adour, 25p. + annexes.
- CAVALIE J., 1990 - *L'érosion des sols : situation en Midi-Pyrénées et techniques de conservation des sols*. In "Les techniques agricoles", Techniques 2000, p. 42-49.

- CERESA, 1987 - *L'érosion des terres agricoles dans le Massif Armoricaïn. Risques à l'échelle régionale et maîtrise du ruissellement lors d'opérations d'aménagement*. Centre d'Etudes et de Recherches sur l'Environnement et les Sols pour l'Aménagement - Ministère de l'Environnement - Ministère de l'Agriculture, 33 p.
- CHAMBRE D'AGRICULTURE DE LA SOMME, 1990 - *Lutte contre l'érosion des sols dans le Ponthieu. Bilan des trois années d'actions et de sensibilisation (1988-1990)*. Amiens, 36 p.
- CHAMBRE D'AGRICULTURE DE SAONE-ET-LOIRE, 1989 - *Charte des zones sensibles à l'érosion applicable aux communes viticoles du département de Saône-et-Loire*, 8 p.
- CHAMBRE D'AGRICULTURE DU PAS-DE-CALAIS, 1994 - *Etude, mise en place et suivi d'aménagements anti-érosifs dans le Val de Canche*, 15 p.
- CHERY P., LE BISSONNAIS Y., KING D., DAROUSSIN J., 1992 - *Définition et délimitation des unités spatiales de fonctionnement (USF) du ruissellement et de l'érosion*. In : Buche P., King D. and Lardon S. (eds.), "Gestion de l'espace rural et système d'information géographique", INRA, p. 133-147.
- Collectif INRA, SCEES, 1989 - *Le grand atlas de la France rurale*. Sous la direction de BRUN A., 494 p.
- Collectif, 1990 - *Soil map of the European Communities, 1 000 000e. Soil map of middle Europe*. Commission of the European Communities, Directorate general for agriculture.
- Collectif, 1992 - *Corine soil erosion risk and important land resources in the southern regions of the European Communities*. Brussels. 97 p. + cartes.
- Collectif, Ecole Supérieure d'Agriculture de Purpan, 1993 - *Gestion régionale sols et sensibilité à l'érosion*. Mise au point d'une méthodologie basée sur les SIG, 41 p.
- Collectif, ministère de l'Environnement, 1996, non publié - *Les "coulées de boue" liées à l'érosion des terres agricoles*. Dossiers et cartes nationaux, dossiers et cartes régionaux.
- CROS-CAYOT S., 1996 - *Distribution spatiale des transferts de surface à l'échelle du versant. Contexte armoricaïn*. Thèse de Docteur de l'ENSAR, 218 p. + annexes.
- DAROUSSIN J., KING D., 1996 - *Pedotransfer rules database to interpret the Soil Geographical Database of Europe for environmental purposes*. In "The use of pedotransfer in soil hydrology research in Europe. Workshop proceedings", Orléans, France, 10-12 octobre 1996, p. 25 - 40.
- DE PLOEY J., 1989 - *Soil erosion map of western Europe*. Published by CATENA. Laboratory of Experimental Geomorphology, Leuven, Belgium.
- DERVILLE I., 1994 - *Maîtrise de l'érosion et du ruissellement en région de grande culture dans le cadre du pré-SAGE Vexin-Thelle*. Mémoire de DEA national d'Hydrologie, juin 1994. 58 p + annexes + carte.
- DEVAUX P., 1995 - *L'érosion des sols dans le département de la Somme. Mémoire de DESS Environnement Aménagement Développement Agricole*. Agence de l'Eau Artois-Picardie.
- DRESSAYRE E., 1986 - *L'érosion dans les coteaux du Lauragais*. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse - Chambre d'Agriculture de la Haute-Garonne, Mémoire de fin d'études, 105 p + annexes.

- DUBUCQ M., 1989 - *Identification et cartographie par télédétection des sols érodés : application au Lauragais toulousain (Sud-Ouest France)*. Thèse Doc. Univ. Paul-Sabatier Toulouse, 247 p + annexes.
- DUFOUR J., GRAVIER J., LARUE J.-P., 1990 - *Fortes pluies et érosion des sols. L'orage de mai 1988 dans la Sarthe*. Bull. Assoc.Géogr.Franç., Paris 1990 - 2.
- DUROUSSET E., 1994 - *Pratiques sociales associées à l'érosion des sols viticoles et aux inondations en Saône-et-Loire*. Univ. Paris X-Nanterre. 154 p + annexes.
- ESRI, 1997 - *Arc/Info version 7.1. Users guide*. Environmental Systems Research Institute, On-line documentation.
- FAUCK R., 1994 - *Gestion de la ressource en eau : le problème de l'érosion des terres*. C. R. Acad. Agric. Franç., 80, 4, pages 3-14.
- GALLIEN E., LE BISSONNAIS Y., EIMBERCK M., BENKHADRA H., LIGNEAU L., OUVRY J. F., MARTIN P., 1995 - *Influence des couverts végétaux de jachère sur le ruissellement et l'érosion diffuse en sol limoneux cultivé*. Cahiers Agricultures, 4, pages 171-83.
- GRAZIANI C.A., 1988 - *Erosion dei suoli agricoli nella CEE*. In "Ambiente, risorse e salute", aprile 1988.
- GUENNELON M., 1956 - *Contribution à l'étude de l'érosion des sols du Bas-Rhône. Cas d'érosion sur vignoble dans le Gard*. Annales agronomiques, V, p. 777-808.
- GUILLERM C., 1994 - *Diagnostic de l'érosion pluviale dans les Rougiers de Camarès. Propositions de pratiques anti-érosives*. Mémoire de fin d'étude de l'ITIA, 51 p.
- HENIN S., GOBILLOT T., 1950 - *L'érosion en France*. Bull. techn. info., 50, p. 431-433.
- HOEBLICH J.M. et SCHWING J.F., 1977 - *L'érosion dans le vignoble de moyenne Alsace : exploitation en vue de l'aménagement*. Mémoire de maîtrise ULP, Strasbourg, 79 p + annexes.
- ICONA, 1988 - *Mapas de estados erosivos*. Madrid, Instituto Nacional para la Conservacion de la Naturaleza - Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentacion.
- JAMAGNE M., HARDY R., KING D., BORNAND M., 1995 - *La base de données géographique des sols de France*. In "Etude et gestion des sols", 2, 3, p. 153-172.
- KING D., HARDY M., LE BISSONNAIS Y., 1991 - *Evaluation spatiale de la sensibilité à l'érosion hydrique des terres agricoles de la région Nord - Pas-de-Calais*. INRA, Conseil régional de la région Nord - Pas-de-Calais, 208 p.
- KING D., HARDY R., LE BISSONNAIS Y., 1991 - *Evaluation spatiale de la sensibilité à l'érosion hydrique des terres agricoles de la région Nord - Pas-de-Calais*. Orléans, 208 p.
- KING D., LE BISSONNAIS Y., 1992 - *Rôle des sols et des pratiques culturales dans l'infiltration et l'écoulement des eaux. Exemple du ruissellement et de l'érosion sur les plateaux limoneux du nord de l'Europe*. C. R. Acad. Agric. Fr., 78, n° 6, p. 91-105.
- LE BISSONNAIS Y., BENKHADRA H., CHAPLOT V., GALLIEN E., EIMBERCK M., FOX D., MARTIN P., LIGNEAU L., J.-F. OUVRY, 1996 - *Genèse du ruissellement et de*

- l'érosion diffuse des sols limoneux : analyse du transfert d'échelle du m² au versant. Géomorphologie : relief, processus, environnement. 3, p. 51-64.*
- LE BISSONNAIS Y., ARROUAYS D., 1997 - *Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility : application to humic loamy soils with various organic carbon contents*. In "European Journal of Soil Science", march 1997, p. 39-48.
- LE DAIN A.Y., 1988 - *L'érosion dans le vignoble languedocien*. Ministère de l'environnement - ministère de l'Agriculture - Institut des Aménagements Régionaux et de l'Environnement (Montpellier), mai 1988, 69 p. + annexes.
- LITZLER C., 1988 - *Maîtrise de l'érosion en vignoble de coteau, aspects agronomiques*. Ministère de l'Environnement - Chambre d'Agriculture de Saône-et-Loire.
- LORE A., MAGALDI D., 1995 - *Valutazione del rischio di erosione del suolo : un esempio in Provincia dell'Aquila*. Quaderni di scienza del suolo, vol. VI, p. 5-18.
- LUDWIG B., 1992 - *L'érosion par ruissellement concentré des terres cultivées du nord du Bassin parisien : analyse de la variabilité des symptômes d'érosion à l'échelle du bassin versant élémentaire*. Thèse de doctorat, université de Strasbourg I, 201 p.
- MARTIN P., 1997 - *Pratiques culturales, ruissellement et érosion diffuse sur les plateaux limoneux du Nord-Ouest de l'Europe*. Thèse université Paris-Grignon, 184 p. + annexes.
- MATHIEU C., GAY M., SANCHEZ E., 1993 - *Evaluation de la fertilité des sols en Midi-Pyrénées : une approche cartographique pour mieux valoriser les analyses de terre*. In : "La gestion des sols pour une agriculture durable", Ecole supérieure d'agriculture de Purpan, Toulouse, n° 166, janv.- mars 1993, p. 28-36.
- MEYNIER A., 1961 - *Glissements de terrain dans le bassin permien de Brive*. Revue de géom. Dyn. XXII^e année, n° 2, p. 130-136.
- MONNIER G., BOIFFIN J., PAPY F., 1986 - *Réflexions sur l'érosion hydrique en conditions climatiques et topographiques modérées : cas des systèmes de grande culture de l'Europe de l'Ouest*. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XXII, n° 2, p. 123-131.
- MORFAUX P., 1989 - *Glissement et érosion des sols champenois*. In : "Le vigneron champenois", n° 10, p. 546-568.
- OUVRY J-F., 1990 - *Effet des techniques culturales sur la susceptibilité des terrain à l'érosion par ruissellement concentré : expérience du Pays de Caux (France)*. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XXV, n° 1-2, p. 157-169.
- OUVRY J-F., 1992 - *L'évolution de la grande culture et l'érosion des terres dans le Pays de Caux*. Bull. Assoc. Géogr. Franç., 2, p. 107-113.
- PAPY F., BOIFFIN J., 1988 - *Influence des systèmes de culture sur les risques d'érosion par ruissellement concentré. II : "Evaluation des possibilités de maîtrise du phénomène dans les exploitations agricoles"*. Agronomie, 8 (9), p. 745-756.
- PAPY F., DOUYER C., 1991 - *Influence des états de surface du territoire agricole sur le déclenchement des inondations catastrophiques*. Agronomie, 11 (3).

- PAPY F., POUJADE C., SOUCHERE V., 1992 - *Maîtrise du ruissellement et de l'érosion sur un territoire agricole : le double découpage de l'espace*. In : Buche P., King D. and Lardon S. (eds.), "Gestion de l'espace rural et système d'information géographique", INRA, 421 p.
- PELLET V., 1993 - *Ruissellement - Erosion - Transfert de pesticides sur les coteaux viticoles et arboricoles de Rhône-Alpes. Vers une approche globale de la gestion de l'eau et des sols ?* Mémoire de fin d'études ENGREF - ENVIRHONALPES (Agence régionale pour la qualité et la gestion de l'Environnement).
- PIHAN J., 1979 - *Risques climatiques d'érosion hydrique des sols en France. Colloque sur l'érosion agricole des sols en milieu tempéré non méditerranéen*. Strasbourg - Colmar, 20-23 septembre 1978, p. 13-18.
- POMMIER O., 1995 - *L'aménagement des parcelles contre l'érosion dans le vignoble champenois : description des techniques et perspectives de développement*. Mémoire de DESS, université de Bourgogne, Agence de l'eau Seine-Normandie. 57p + annexes.
- REVILLION P.Y., 1984 - *Le problème de l'érosion des terres agricoles dans le Lauragais (Haute-Garonne)*. Dossier préliminaire à caractère méthodologique et pédagogique. Rapport du Bureau du Développement de la Production Agricole, ministère de l'Agriculture (ENGREF) et Secrétariat d'Etat à l'Environnement et à la Qualité de la Vie, 31p.
- ROUAUD M., 1987 - *Evaluation de l'érosion quaternaire des remaniements de versant et de l'érosion en rigoles dans le Terrefort Toulousain*. Thèse 3^{ème} cycle univ. Paul-Sabatier, Toulouse, 320 p.
- SABA EL-GHOSSAIN T., 1977 - *Erosion dans le vignoble alsacien*. Thèse ULP Strasbourg, 107 p. + annexes.
- SOULIER M.-C., 1995 - *Les mouvements de terrain de janvier et février 1994 dans l'Yssandonnais (Corrèze) et leur impact sur les activités humaines*. Mémoire de maîtrise, université de Limoges, 137 p.
- VIGUIER J.M., OLIVEROS C., BERNARD R., 1990 - *Erosion des vignobles dans les Côtes de Provence (Viduban-France). Mesures et interprétations*. BRGM (département Environnement et Risques, de Marseille et d'Orléans) - Chambre d'Agriculture du Var.
- WISCHMEIER WH., SMITH D. D., 1978 - *Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning*. US Department of Agriculture, "Agricultural Handbook n° 537", Science and Education Administration USDA, Washington DC., 58 p.

CORRESPONDANCE DES FIGURES ENTRE LE RAPPORT ET LE CD-ROM

*L'ensemble des figures a été réalisé à partir de données des producteurs suivants :
IFEN - IGN - INRA - METEO-FRANCE.
Les cartes sont issues de traitements par l'INRA.*

N° de figure du rapport	Intitulé	Nom du fichier CD-Rom
Tableau 1	Règles de pédotransfert pour la battance des sols	tablo1.htm
Tableau 2	Règles d'évaluation de l'érodibilité du matériau parental	tablo2.htm
Annexe 5	Exemple de tableau des fréquences moyennes de hauteurs de pluie pour certains seuils	tablo3.htm
Tableau 4	Caractéristiques des différentes unités spatiales d'intégration envisageables	tablo4.htm
Annexe 4	Liste des petites régions agricoles	tablo5.htm
Tableau 5	Méthode d'intégration de l'aléa dans l'USI	tablo6.htm
Tableau 7	Tableau récapitulatif des résultats du modèle	tablo7.htm
Figure 1	Etapas de travail pour la cartographie de l'aléa "Erosion"	fig14.htm
Figure 2	Carte simplifiée des sols de France	fig2.htm
Figure 3	Carte de la Région Languedoc-Roussillon	langrou.htm
Figure 4	Pentes classées d'après le modèle numérique de terrain de la France à la maille de 250 m	fig4.htm
Figure 5a	Fréquence des événements de plus de 15 mm en 1 heure, en été	fig5a.htm
Figure 5b	Fréquence des événements de plus de 15 mm en 1 heure, en automne	fig5b.htm
Figure 6	Carte des Petites Régions Agricoles	fig6.htm
Figure 7	Les zones de montagnes	fig7.htm
Figure 8	Triangle des textures	triangle.htm
Figure 9	Carte de la sensibilité des sols à la battance	fig9.htm

Figure 10a	Niveau de confiance de la règle de pédotransfert pour l'estimation de la battance	fig10a.htm
Figure 10b	Niveau de confiance de la règle de pédotransfert pour l'estimation de l'érodibilité du matériau parental	fig10b.htm
Figure 11	Carte de l'érodibilité des matériaux parentaux	fig11.htm
Figure 12	Nomenclature CORINE Land Cover	3clature.htm
Figure 13	Types d'occupation des sols de France d'après CORINE Land Cover	fig3.htm
Figure 14	Diagramme synthétique résumant les traitements des données de base effectués	jth.htm
Annexe 1	Règles de décision du modèle d'érosion	table.htm
Figure 16a	Classes des hauteurs de précipitations combinées aux fréquences moyennes des événements de plus de 15 mm en 1 heure, <i>au printemps</i>	fig16a.htm
Figure 16b	Classes des hauteurs de précipitations combinées aux fréquences moyennes des événements de plus de 15 mm en 1 heure, <i>en été</i>	fig16b.htm
Figure 16c	Classes des hauteurs de précipitations combinées aux fréquences moyennes des événements de plus de 15 mm en 1 heure, <i>en automne</i>	fig16c.htm
Figure 16d	Classes des hauteurs de précipitations combinées aux fréquences moyennes des événements de plus de 15 mm en 1 heure, <i>en hiver</i>	fig16d.htm
Figure 17a	Aléa érosif <i>au printemps</i> , intégré par bassin versant	fig17a.htm
Figure 17b	Aléa érosif <i>en été</i> , intégré par bassin versant	fig17b.htm
Figure 17c	Aléa érosif <i>en automne</i> , intégré par bassin versant	fig17c.htm
Figure 17c	Aléa érosif <i>en hiver</i> , intégré par bassin versant	fig17d.htm
Annexe 2	Aléa érosif <i>au printemps</i> , intégré par Petite Région Agricole	fig18a.htm
Annexe 2	Aléa érosif <i>en été</i> , intégré par Petite Région Agricole	fig18b.htm
Annexe 2	Aléa érosif <i>en automne</i> , intégré par Petite Région Agricole	fig18c.htm
Annexe 2	Aléa érosif <i>en hiver</i> , intégré par Petite Région Agricole	fig18d.htm

Figure 19a	Aléa érosif <i>au printemps</i> , intégré par canton	fig19a.htm
Figure 19b	Aléa érosif <i>en été</i> , intégré par canton	fig19b.htm
Figure 19c	Aléa érosif <i>en automne</i> , intégré par canton	fig19c.htm
Figure 19d	Aléa érosif <i>en hiver</i> , intégré par canton	fig19d.htm
Figure 20a	Aléa érosif <i>au printemps</i> , intégré par département	fig20a.htm
Figure 20b	Aléa érosif <i>au printemps</i> , intégré par département	fig20b.htm
Figure 20c	Aléa érosif <i>au printemps</i> , intégré par département	fig20c.htm
Figure 20d	Aléa érosif <i>au printemps</i> , intégré par département	fig20d.htm
Annexe 3	Règles de décision du modèle d'intégration	fig21.htm
Figure 22	Pourcentage de cultures de <i>printemps</i> par Petite Région Agricole, d'après le RGA de 1988	fig22.htm
Figure 23	Pourcentage de cultures d' <i>hiver</i> par Petite Région Agricole, d'après le RGA de 1988	fig23.htm
Figure 24	Pourcentage des vignes et vergers par Petite Région Agricole, d'après le RGA de 1988	fig24.htm
Annexe 2	Typologie des aléas érosifs dominants par Petite Région Agricole	fig25.htm
Figure 26	Communes affectées par au moins une coulée boueuse	fig26.htm
Annexe 6	Corrections manuelles d'après avis d'experts sur l'évaluation de l'aléa érosion	fig27.htm

ANNEXES

- Annexe 1** Modèle déterminant la sensibilité des sols à l'érosion et les aléas d'érosion
- Annexe 2** Cartes des données de base et des résultats du modèle :
- 4 cartes de l'aléa "érosion" intégré par Petite région agricole (PRA) :
 - . printemps
 - . été
 - . automne
 - . hiver
 - Typologie des aléas érosifs dominants par Petite région agricole
- Annexe 3** Modèle pour l'intégration des aléas par Unité spatiale d'intégration (USI)
- Annexe 4** Légende des Petites régions agricoles, classées par ordre décroissant d'aléa, en automne
- Annexe 5** Exemple de tableau des fréquences moyennes de hauteurs de pluie pour certains seuils
- Annexe 6** Carte des corrections manuelles d'après avis d'experts sur l'évaluation de l'aléa d'érosion

ANNEXE 1

Modèle déterminant la sensibilité des sols à l'érosion et les aléas d'érosion

Modèle établi par combinaison d'informations sur l'occupation des sols, les pentes, les types de sols, les matériaux parentaux et la pluviométrie.

Il permet de définir l'intensité des aléas d'érosion ainsi que les types érosifs rencontrés.

Villes et terres arables

TYPES CORINE	BATTANCE	PENTE	ERODIBILITE	ALEA - SENSIBILITE					TYPLOGIE ALEA
				Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	
VILLES				10 (VILLES)					
TERRES ARABLES	1	0 - 10		1	1	1	1	2	M
		10 - 30		1	1	2	2	3	
		> 30	1-2	1	1	2	2	3	
			3	2	3	3	3	4	
	2	0 - 5		1	1	1	1	2	M
		5 - 10		1	1	2	2	3	
		10 - 30		1	2	2	3	3	
		> 30	1 - 2	2	2	3	4	4	
			3	2	3	4	5	5	
	3	0 - 2		1	1	2	2	3	
		2 - 5		1	2	2	3	4	
		5 - 10		2	3	3	4	5	
		> 10		3	4	4	5	5	
	4	0 - 1		1	1	2	3	3	
		1 - 2		2	3	3	4	5	
		> 2		3	4	4	5	5	

GCP
GCH

Cultures permanentes

TYPES CORINE	BATTANCE	PENTE	ERODIBILITE	ALEA - SENSIBILITE					TYPLOGIE ALEA
				Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	
CULTURES PERMANENTES	1	0 - 10		1	1	1	1	2	M
		10 - 15		1	2	2	3	3	
		15 - 30	1-2	1	1	2	3	4	
			3	2	3	3	4	4	
	2	> 30	1	1	2	3	3	3	M
			2	2	3	3	4	4	
		> 30	2	3	3	4	4	4	
			3	3	4	4	5	5	
	3	0 - 5		1	1	1	1	2	V
		5 - 10		1	2	2	3	3	
		10 - 30		2	3	3	4	4	
		> 30	1	2	3	3	4	4	
			2-3	3	4	4	4	5	
	4	0 - 2		1	1	2	2	3	
		2 - 5		1	2	2	3	4	
		5 - 10		2	3	3	4	5	
		> 10		3	4	4	5	5	
	4	0 - 1		1	1	2	3	3	
		1 - 2		2	3	3	4	5	
		> 2		3	4	4	5	5	

Zones hétérogènes

TYPES CORINE	BATTANCE	PENTE	ERODIBILITE	ALEA - SENSIBILITE					TYPOLOGIE ALEA
				Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	

ZONES HETEROGENES	1	0 - 15		1	1	1	1	2	M
		15 - 30		1	2	2	2	3	
		> 30	1 - 2	1	2	2	3	3	
			3	1	2	3	3	4	
	2	0 - 10		1	1	1	1	2	M
		10 - 30		1	1	2	3	3	
		> 30		2	3	3	3	4	
	3	0 - 10		1	1	1	1	2	M
		10 - 15		1	2	2	3	4	
		15 - 30		2	3	3	4	4	
		> 30	1	2	3	3	4	4	
			2 - 3	3	4	4	4	5	
	4	0 - 2		1	1	1	1	2	M
		2 - 15		1	2	2	3	3	
		15 - 30		2	3	3	4	4	
		> 30	1	2	3	3	4	5	
			2 - 3	3	4	4	5	5	

V (ZH),
CP (ZH),
CH (ZH)

Forêts et végétation arbustive - Zones naturelles dégradées
Prairies et pâturages - Espaces ouverts et zones humides

TYPES CORINE	BATTANCE	PENTE	ERODIBILITE	ALEA - SENSIBILITE					TYPOLOGIE ALEA
				Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	

FORETS ET VEGETATIONS ARBUSTIVES	{	< 75	_____	1	1	1	1	1	F					
{		> 75	1	_____	1	1	1	1	1	}	M			
			2	_____	1	1	2	2	3					
	3		_____	2	2	3	3	4						
ZONES NATURELLES DEGRADEES	{	1 - 2	0 - 2	_____	1	1	1	1	2	}	F, CP, CH, V			
			2 - 30	_____	1	1	2	3	3					
			30 - 75	1 - 2	_____	1	1	2	3			4		
				3	_____	2	3	3	4			4		
		> 75	1 - 2	_____	2	3	3	4	4	}	M			
			3	_____	3	3	4	4	5					
			3 - 4	0 - 2	_____	1	1	1	1			2	}	F, CP, CH, V
				2 - 15	_____	1	1	2	3			3		
	15 - 30	1 - 2		_____	1	2	2	3	4					
		3		_____	2	3	3	4	5					
	> 30	1 - 2	_____	2	3	3	4	5	}	M				
		3	_____	3	4	4	5	5						
PRAIRIES ET PATURAGES	{	<75	_____	1	1	1	1	1	P					
		> 75	1	_____	1	1	1	1	1	}	M			
			2	_____	1	1	2	2	3					
ESPACES OUVERTS	{	3	_____	2	2	3	3	4	}					
ZONES HUMIDES	{			11	(Espaces ouverts)									
				12	(Zones humides)									

- 1 : GCP : Grandes cultures de printemps
2 : GCH : Grandes cultures d'hiver
3 : V : vignes et vergers
4 : M : montagne
5 : CP (ZH) : cultures de printemps en zones hétérogènes
6 : CH (ZH) : cultures d'hiver en zones hétérogènes

F : forêts
P : prairies

ANNEXE 4

Légende des Petites régions agricoles, classées par ordre décroissant d'aléa, en automne

ALEA	n° PRA	NOM DE LA PRA
13	91333	CEINTURE DE PARIS (ESSONNE)
13	78333	CEINTURE DE PARIS (YVELINES)
13	78334	DROUAI (YVELINES)
13	91055	HUREPOIX (ESSONNE)
13	79370	MARAI POITEVIN MOUILLE (DEUX-SEVRES)
13	78330	VEXIN (YVELINES)
12	13244	CAMARGUE (BOUCHES-DU-RHONE)
11	05457	BRIANCONNAIS (HAUTES-ALPES)
11	05236	DEVOLUY (HAUTES-ALPES)
11	74458	GRANDES ALPES (HAUTE-SAVOIE)
11	05232	HAUT-EMBRUNAIS (HAUTES-ALPES)
11	73229	MAURIENNE (SAVOIE)
11	73458	TARENTEISE (SAVOIE)
10	92333	CEINTURE DE PARIS (HAUTS-DE-SEINE)
10	93333	CEINTURE DE PARIS (SEINE-SAINT-DENIS)
10	95333	CEINTURE DE PARIS (VAL-D'OISE)
10	94333	CEINTURE DE PARIS (VAL-DE-MARNE)
10	33126	CEINTURE LAITIERE ET LEGUMIERE DE BORDEAUX (GIRONDE)
10	75000	PARIS (PARIS)
10	93329	VIEILLE FRANCE (SEINE-SAINT-DENIS)
10	69196	ZONE MARAICHERE DE LYON (RHONE)
5	73455	ALBANAIS (SAVOIE)
5	16113	ANGOUMOIS-RUFFECOIS (CHARENTE)
5	32383	ASTARAC (GERS)
5	65383	ASTARAC (HAUTES-PYRENEES)
5	32388	BAS-ARMAGNAC (GERS)
5	38199	BAS-DAUPHINE (ISERE)
5	69199	BAS-DAUPHINE (RHONE)
5	74208	BAS-GENEVOIS (HAUTE-SAVOIE)
5	77060	BRIE EST (SEINE-ET-MARNE)
5	77336	BRIE LAITIERE (SEINE-ET-MARNE)
5	77045	BUTTE DE DAMMARTIN (SEINE-ET-MARNE)
5	59326	CAMBRESIS (NORD)
5	40382	CHALOSSE (LANDES)
5	64382	CHALOSSE (PYRENEES-ATLANTIQUES)
5	08317	CHAMPAGNE CRAYEUSE (ARDENNES)
5	89317	CHAMPAGNE CRAYEUSE (YONNE)
5	05235	CHAMPSAUR (HAUTES-ALPES)
5	62024	COLLINES GUINOISES (PAS-DE-CALAIS)
5	66470	CORBIERES DU ROUSSILLON (PYRENEES-ORIENTALES)
5	64381	COTEAUX DU BERN (PYRENEES-ATLANTIQUES)
5	82385	COTEAUX DU GERS (TARN-ET-GARONNE)
5	65381	COTEAUX NORD (HAUTES-PYRENEES)
5	33128	COTES DU BORDELAIS (GIRONDE)
5	66254	CRU BANYULS (PYRENEES-ORIENTALES)
5	01198	DOMBES (AIN)
5	76048	ENTRE BRAY ET PICARDIE (SEINE-MARITIME)
5	79366	ENTRE PLAINE ET GATINE (DEUX-SEVRES)
5	26242	GALLAURE ET HERBASSE (DROME)
5	05239	GAPENCAIS (HAUTES-ALPES)
5	77329	GOELLE ET MULTIEN (SEINE-ET-MARNE)
5	62030	HAUT-PAYS D'ARTOIS (PAS-DE-CALAIS)
5	33123	ILOT DE POLYCLTURE DE BARON (GIRONDE)
5	29358	LITTORAL BRETON NORD (FINISTERE)
5	84238	MONT DU VENTOUX, DE VAUCLUSE ET DU LUBERON (VAUCLUSE)
5	77056	ORXOIS (SEINE-ET-MARNE)
5	62023	PAYS AIRE (PAS-DE-CALAIS)
5	89319	PAYS D'OTHE (YONNE)
5	76046	PAYS DE CAUX (SEINE-MARITIME)
5	40145	PAYS DE GOSSE (LANDES)
5	62039	PAYS DE MONTREUIL (PAS-DE-CALAIS)
5	60041	PAYS DE THELLE (OISE)
5	76047	PETIT CAUX (SEINE-MARITIME)
5	16371	PLAINE DE NIORT BRIOUX (CHARENTE)
5	79371	PLAINE DE NIORT BRIOUX (DEUX-SEVRES)
5	14355	PLAINES DE CAEN ET DE FALAISE (CALVADOS)
5	26240	PLAINES RHODANIENNES (DROME)
5	60327	PLATEAU PICARD (OISE)
5	80327	PLATEAU PICARD (SOMME)
5	80036	PONTHIEU (SOMME)
5	32387	RIVIERE BASSE (GERS)
5	02034	SAINT-QUENTINOIS ET LAONNOIS (AISNE)
5	16375	SAINTONGE AGRICOLE (CHARENTE)
5	12409	SEGALA (AVEYRON)
5	40144	SEIGNANX (LANDES)
5	62032	TERNOIS (PAS-DE-CALAIS)
5	84464	TRICASTIN (VAUCLUSE)
5	40387	TURSAN (LANDES)
5	95332	VALLEE DE LA SEINE (VAL-D'OISE)
5	40379	VALLEE DU GAVE D'OLORON (LANDES)
5	40380	VALLEE DU GAVE DE PAU (LANDES)
5	64380	VALLEE DU GAVE DE PAU (PYRENEES-ATLANTIQUES)
5	38465	VALLEE DU RHONE (ISERE)
5	26241	VALLOIRE (DROME)
5	27044	VEXIN NORMAND (EURE)
5	32386	VIC-BILH (GERS)
5	64386	VIC-BILH (PYRENEES-ATLANTIQUES)

ALEA	n° PRA	NOM DE LA PRA
5	65386	VIC-BILH ET MADIRAN (HAUTES-PYRENEES)
5	95329	VIEILLE FRANCE (VAL-D'OISE)
5	80038	VIMEU (SOMME)
4	74455	ALBANAIS (HAUTE-SAVOIE)
4	62326	ARTOIS (PAS-DE-CALAIS)
4	17374	AUNIS (CHARENTE-MARITIME)
4	84463	BARONNIES (VAUCLUSE)
4	62040	BAS-CHAMPS PICARDS (PAS-DE-CALAIS)
4	69444	BEAUJOLAIS VITICOLE (RHONE)
4	77338	BOCAGE GATINAIS (SEINE-ET-MARNE)
4	77058	BRIE CENTRALE (SEINE-ET-MARNE)
4	51335	BRIE CHAMPENOISE (MARNE)
4	65148	COTEAUX DE BIGORRE (HAUTES-PYRENEES)
4	65389	COTEAUX DE GASCogne (HAUTES-PYRENEES)
4	64141	COTEAUX ENTRE LES GAVES (PYRENEES-ATLANTIQUES)
4	05237	EMBRUNAIS (HAUTES-ALPES)
4	76049	ENTRE CAUX ET VEXIN (SEINE-MARITIME)
4	85366	ENTRE PLAINE ET BOCAGE (VENDEE)
4	39206	FINAGE (JURA)
4	59025	FLANDRE INTERIEURE (NORD)
4	89338	GATINAIS PAUVRE (YONNE)
4	73451	LES QUATRE CANTONS (SAVOIE)
4	12162	LEVEZOU (AVEYRON)
4	22358	LITTORAL BRETON NORD (COTES-D'ARMOR)
4	82384	LOMAGNE (TARN-ET-GARONNE)
4	40133	MARSAN (LANDES)
4	34470	MINERVOIS (HERAULT)
4	10319	PAYS D'OTHE (AUBE)
4	76331	PAYS DE BRAY (SEINE-MARITIME)
4	33402	PAYS DE DURAS (GIRONDE)
4	18439	PAYS FORT ET SANCERROIS (CHER)
4	27351	PERCHE (EURE)
4	28351	PERCHE (EURE-ET-LOIR)
4	41351	PERCHE (LOIR-ET-CHER)
4	16367	PLAINE DE LA MOTHE-LEZAY (CHARENTE)
4	79367	PLAINE DE LA MOTHE-LEZAY (DEUX-SEVRES)
4	85371	PLAINE VENDEENNE (VENDEE)
4	30471	PLAINE VITICOLE (GARD)
4	34471	PLAINE VITICOLE (HERAULT)
4	04462	PLATEAU DE FOLCALQUIER (ALPES-DE-HAUTE-PROVENCE)
4	21311	PLATEAU LANGROIS, MONTAGNE (COTE-D'OR)
4	79109	PLATEAU MELLOIS (DEUX-SEVRES)
4	89186	PLATEAUX DE BOURGOGNE (YONNE)
4	74214	REGION D'ANNEMASSE (HAUTE-SAVOIE)
4	22362	REGION DU SUD-OUEST (COTES-D'ARMOR)
4	65387	RIVIERE BASSE (HAUTES-PYRENEES)
4	17375	SAINTONGE AGRICOLE (CHARENTE-MARITIME)
4	80035	SANTERRE (SOMME)
4	30415	SOUBERGUES (GARD)
4	34415	SOUBERGUES (HERAULT)
4	51336	TARDENOIS (MARNE)
4	16372	TERRES ROUGES A CHATAIGNIERS (CHARENTE)
4	26464	TRICASTIN (DROME)
4	01195	VALLEE DE LA SAONE (AIN)
4	74211	VALLEE DES USSES (HAUTE-SAVOIE)
4	42465	VALLEE DU RHONE (LOIRE)
4	69465	VALLEE DU RHONE (RHONE)
4	02329	VALOIS (AISNE)
4	95330	VEXIN (VAL-D'OISE)
4	27330	VEXIN BOSSU (EURE)
4	51017	VIGNOBLE (MARNE)
4	21312	VINGEANNE (COTE-D'OR)
3	26463	BARONNIES (DROME)
3	55314	BARROIS (MEUSE)
3	88314	BARROIS (VOSGES)
3	52314	BARROIS VALLEE (HAUTE-MARNE)
3	40388	BAS-ARMAGNAC (LANDES)
3	74226	BAS-CHABLAIS (HAUTE-SAVOIE)
3	30422	BAS-VIVARAIS (GARD)
3	84466	BASSE VALLEE DE LA DURANCE (VAUCLUSE)
3	89320	BASSE-YONNE (YONNE)
3	29362	BASSIN DE CHATEAULIN (FINISTERE)
3	33124	BENAUGE BOISEE (GIRONDE)
3	33401	BERGERACOIS (GIRONDE)
3	62031	BETHUNOIS (PAS-DE-CALAIS)
3	33117	BLAYAIS (GIRONDE)
3	85110	BOCAGE DE CHANTONNAY (VENDEE)
3	36435	BOISCHAUT DU NORD (INDRE)
3	62029	BOULONNAIS (PAS-DE-CALAIS)
3	01446	BRESSE (AIN)
3	22359	BRETAGNE CENTRALE (COTES-D'ARMOR)
3	56359	BRETAGNE CENTRALE (MORBIHAN)
3	10317	CHAMPAGNE CRAYEUSE (AUBE)
3	51317	CHAMPAGNE CRAYEUSE (MARNE)
3	51318	CHAMPAGNE HUMIDE (MARNE)
3	74222	CLUZE D'ARVE (HAUTE-SAVOIE)
3	07169	COIRON (ARDECHE)
3	73219	COMBE DE SAVOIE (SAVOIE)
3	16432	CONFOLENTAIS (CHARENTE)
3	21441	COTE VITICOLE ET ARRIERE-COTE DE BOURGOGNE (COTE-D'OR)
3	31385	COTEAUX DU GERS (HAUTE-GARONNE)
3	47156	COTEAUX NORD DU LOT-ET-GARONNE (LOT-ET-GARONNE)
3	33405	DOUBLE PERIGOURDINE (GIRONDE)
3	28076	FAUX PERCHE (EURE-ET-LOIR)
3	30416	GARRIGUES (GARD)
3	34416	GARRIGUES (HERAULT)
3	79368	GATINE (DEUX-SEVRES)
3	37435	GATINE DE LOCHES ET DE MONTRESOR (INDRE-ET-LOIRE)
3	41346	GATINE TOURANGELLE (LOIR-ET-CHER)

ALEA	n° PRA	NOM DE LA PRA
3	12411	GRANDS-CAUSSES (AVEYRON)
3	59033	HAIGNAUT (NORD)
3	65150	HAUTE VALLEE DE L'ADOUR (HAUTES-PYRENEES)
3	68450	JURA (HAUT-RHIN)
3	33406	LANDAIS (GIRONDE)
3	22360	LANDES DES MONTS D'ARREE ET DU MENE (COTES-D'ARMOR)
3	05459	LARAGNAIS (HAUTES-ALPES)
3	73454	LE VAL D'ARLY (SAVOIE)
3	33118	LIBOURNAIS (GIRONDE)
3	202258	LITTORAL CORSE (HAUTE-CORSE)
3	04460	MONTAGNE DE HAUTE-PROVENCE (ALPES-DE-HAUTE-PROVENCE)
3	16112	MONTMORELIEN (CHARENTE)
3	77059	MONTOIS (SEINE-ET-MARNE)
3	10335	NOGENTAIS (AUBE)
3	33122	OUEST ENTRE-DEUX-MERS (GIRONDE)
3	61352	PAYS D'OUCHE (ORNE)
3	26243	PAYS DE BOURDEAUX (DROME)
3	60331	PAYS DE BRAY (OISE)
3	27050	PAYS DE LYONS (EURE)
3	54308	PAYS HAUT-LORRAIN (MEURTHE-ET-MOSELLE)
3	57308	PAYS HAUT-LORRAIN (MOSELLE)
3	41075	PERCHE VENDOMOIS (LOIR-ET-CHER)
3	39451	PETITE MONTAGNE (JURA)
3	33136	PETITES LANDES DU BAZADAIS (GIRONDE)
3	59027	PEVELE (NORD)
3	78053	PLAINE DE VERSAILLES (YVELINES)
3	66252	PLAINE DU ROUSSILLON (PYRENEES-ORIENTALES)
3	70205	PLAINE GRAYLOISE (HAUTE-SAONE)
3	27078	PLATEAU DE NEUBOURG (EURE)
3	84462	PLATEAU DE SAINT-CHRISTOL (VAUCLUSE)
3	04233	PLATEAU DE VALENTOLE (ALPES-DE-HAUTE-PROVENCE)
3	74228	PLATEAU DES BORNES (HAUTE-SAVOIE)
3	74225	PLATEAU DES DRANSES (HAUTE-SAVOIE)
3	52311	PLATEAU LANGROIS, MONTAGNE (HAUTE-MARNE)
3	89340	PUISAYE (YONNE)
3	33120	REGION DE POLYCLTURE DE SAINT-CIERS (GIRONDE)
3	56362	REGION NORD (MORBIHAN)
3	24158	RIBERACOIS (DORDOGNE)
3	27052	ROUMOIS (EURE)
3	33376	SAINTONGE BOISEE (GIRONDE)
3	81409	SEGALA (TARN)
3	05463	SERROIS-ROSANNAIS (HAUTES-ALPES)
3	04459	SISTERONNAIS (ALPES-DE-HAUTE-PROVENCE)
3	02328	SOISSONNAIS (AISNE)
3	02336	TARDENOIS ET BRIE (AISNE)
3	02323	THIERACHE (AISNE)
3	04466	VAL DE DURANCE (ALPES-DE-HAUTE-PROVENCE)
3	64143	VALLEE DE L'ADOUR (PYRENEES-ATLANTIQUES)
3	69195	VALLEE DE LA SAONE (RHONE)
3	64379	VALLEE DU GAVE D'OLORON (PYRENEES-ATLANTIQUES)
3	77061	VALLEES DE LA MARNE ET DU MORIN (SEINE-ET-MARNE)
3	60329	VALOIS ET MULTIEN (OISE)
3	60330	VEXIN FRANCAIS (OISE)
3	12407	VIADENE ET VALLEE DU LOT (AVEYRON)
3	39207	VIGNOBLE DU (JURA) (JURA)
3	10011	VIGNOBLE DU BARROIS (AUBE)
3	01216	ZONE D'ELEVAGE DU PAYS DE GEX (2EME ZONE) (AIN)
2	06250	ALPES NICOISES (ALPES-MARITIMES)
2	08315	ARGONNE (ARDENNES)
2	51315	ARGONNE (MARNE)
2	55315	ARGONNE (MEUSE)
2	15421	ARTENSE (CANTAL)
2	19421	ARTENSE (CORREZE)
2	12419	AUBRAC (AVEYRON)
2	48419	AUBRAC (LOZERE)
2	21442	AUXOIS (COTE-D'OR)
2	50087	AVRANCHIN (MANCHE)
2	85368	BAS-BOCAGE (VENDEE)
2	19408	BAS-PAYS DE BRIVE (CORREZE)
2	12397	BAS-QUERCY (AVEYRON)
2	82154	BAS-QUERCY DE MONTCLAR (TARN-ET-GARONNE)
2	07422	BAS-VIVARAIS (ARDECHE)
2	13466	BASSE VALLEE DE LA DURANCE (BOUCHES-DU-RHONE)
2	77320	BASSEE OU BASSE-SEINE (SEINE-ET-MARNE)
2	15163	BASSIN D'AURILLAC (CANTAL)
2	91342	BEAUCE (ESSONNE)
2	73230	BEAUFORTIN (SAVOIE)
2	72345	BEAUGEOIS (SARTHE)
2	72090	BELINOIS (SARTHE)
2	33125	BENAUCE (POLYCLTURE) (GIRONDE)
2	24401	BERGERACOIS (DORDOGNE)
2	47401	BERGERACOIS (LOT-ET-GARONNE)
2	45439	BERRY (LOIRET)
2	14085	BESSIN (CALVADOS)
2	14354	BOCAGE (CALVADOS)
2	79373	BOCAGE (DEUX-SEVRES)
2	44356	BOCAGE ANGEVIN (LOIRE-ATLANTIQUE)
2	53356	BOCAGE ANGEVIN (MAYENNE)
2	61354	BOCAGE ORNAIS (ORNE)
2	26461	BOCHAIEN (DROME)
2	36436	BOISCHAUT DU SUD (INDRE)
2	58185	BOURGOGNE NIVERNAISE (NIEVRE)
2	16438	BRANDES (CHARENTE)
2	36438	BRENNE, PETITE BRENNE (INDRE)
2	39446	BRESSE (JURA)
2	71202	BRESSE CHALONNAISE (SAONE-ET-LOIRE)
2	71446	BRESSE LOUHANNNAISE (SAONE-ET-LOIRE)
2	35359	BRETAGNE CENTRALE (ILLE-ET-VILAINE)
2	77057	BRIE BOISEE (SEINE-ET-MARNE)

ALEA	n° PRA	NOM DE LA PRA
2	77335	BRIE CHAMPENOISE (SEINE-ET-MARNE)
2	77337	BRIE FRANCAISE (SEINE-ET-MARNE)
2	77062	BRIE HUMIDE (SEINE-ET-MARNE)
2	01451	BUGEY (AIN)
2	48411	CAUSSES (LOZERE)
2	30414	CAUSSES DU LARZAC (GARD)
2	34414	CAUSSES DU LARZAC (HERAULT)
2	81395	CAUSSES DU QUERCY (TARN)
2	82395	CAUSSES DU QUERCY (TARN-ET-GARONNE)
2	66256	CERDAGNE (PYRENEES-ORIENTALES)
2	74224	CHABLAIS (HAUTE-SAVOIE)
2	18434	CHAMPAGNE BERRICHONNE (CHER)
2	36434	CHAMPAGNE BERRICHONNE (INDRE)
2	02317	CHAMPAGNE CRAYEUSE (AISNE)
2	10318	CHAMPAGNE HUMIDE (AUBE)
2	52318	CHAMPAGNE HUMIDE (HAUTE-MARNE)
2	72092	CHAMPAGNE MANCELLE (SARTHE)
2	37070	CHAMPEIGNE (INDRE-ET-LOIRE)
2	15409	CHATAIGNERAIE (CANTAL)
2	73213	CHAUTAGNE (SAVOIE)
2	60042	CLERMONTOIS (OISE)
2	73220	CLUSE DE CHAMBERY (SAVOIE)
2	16377	COGNACAI (CHARENTE)
2	39209	COMBE D'AIN (JURA)
2	13467	COMTAT (BOUCHES-DU-RHONE)
2	84467	COMTAT (VAUCLUSE)
2	64138	COTE BASQUE (PYRENEES-ATLANTIQUES)
2	71441	COTE CHALONNAISE (SAONE-ET-LOIRE)
2	47157	COTEAUX BORDURE LANDES (LOT-ET-GARONNE)
2	201259	COTEAUX CORSES (CORSE-DU-SUD)
2	202259	COTEAUX CORSES (HAUTE-CORSE)
2	31389	COTEAUX DE GASCOGNE (HAUTE-GARONNE)
2	13468	COTEAUX DE PROVENCE (BOUCHES-DU-RHONE)
2	83468	COTEAUX DE PROVENCE (VAR)
2	32385	COTEAUX DU GERS (GERS)
2	64139	COTEAUX DU PAYS BASQUE (PYRENEES-ATLANTIQUES)
2	01201	COTEAUX EN BORDURE DES DOMBES (AIN)
2	81152	COTEAUX MOLASSIQUES (TARN)
2	06245	COTEAUX NICOIS (ALPES-MARITIMES)
2	47398	COTEAUX SUD GARONNE (LOT-ET-GARONNE)
2	54313	COTES DE MEUSE (MEURTHE-ET-MOSELLE)
2	88313	COTES DE MEUSE (VOSGES)
2	13246	CRAU (BOUCHES-DU-RHONE)
2	08022	CRETES PRE-ARDENNAISES (ARDENNES)
2	39452	DEUXIEME PLATEAU (JURA)
2	26234	DIOIS (DROME)
2	24405	DOUBLE PERIGOURDINE (DORDOGNE)
2	17376	DOUBLE SAINTONGEAISE (CHARENTE-MARITIME)
2	28334	DROUAIS-THIMERAIS (EURE-ET-LOIR)
2	47402	DURAS (LOT-ET-GARONNE)
2	33121	ENTRE-DEUX-MERS VITICOLE (GIRONDE)
2	66472	FENOUILLEDE (PYRENEES-ORIENTALES)
2	59325	FLANDRE MARITIME (NORD)
2	37072	FORET D'AMBOISE (INDRE-ET-LOIRE)
2	81151	GAILLACOIS (TARN)
2	91339	GATINAIS (ESSONNE)
2	45338	GATINAIS PAUVRE (LOIRET)
2	86368	GATINE (VIENNE)
2	37346	GATINE TOURANGELLE (INDRE-ET-LOIRE)
2	74223	GIFFRE (HAUTE-SAVOIE)
2	33129	GRAVES (GIRONDE)
2	32147	HAUT-ARMAGNAC (GERS)
2	85373	HAUT-BOCAGE (VENDEE)
2	39449	HAUT-JURA (JURA)
2	19432	HAUT-LIMOUSIN (CORREZE)
2	87432	HAUT-LIMOUSIN (HAUTE-VIENNE)
2	70307	HAUTES-VOSGES (HAUTE-SAONE)
2	78055	HUREPOIX (YVELINES)
2	54305	LA HAYE (MEURTHE-ET-MOSELLE)
2	88305	LA HAYE (VOSGES)
2	21440	LA PLAINE (COTE-D'OR)
2	31393	LA RIVIERE (HAUTE-GARONNE)
2	74210	LA SEMINE (HAUTE-SAVOIE)
2	21322	LA VALLEE (COTE-D'OR)
2	24406	LANDAIS (DORDOGNE)
2	81391	LAURAGAIS (TARN)
2	82391	LAURAGAIS (TARN-ET-GARONNE)
2	31390	LES VALLEES (HAUTE-GARONNE)
2	27077	LIEUVIN (EURE)
2	46408	LIMARGUE (LOT)
2	56364	LITTORAL BRETON SUD (MORBIHAN)
2	201258	LITTORAL CORSE (CORSE-DU-SUD)
2	13469	LITTORAL DE PROVENCE (BOUCHES-DU-RHONE)
2	83469	LITTORAL DE PROVENCE (VAR)
2	06249	LITTORAL NICOIS (ALPES-MARITIMES)
2	71444	MACONNAIS (SAONE-ET-LOIRE)
2	17369	MARAI POITEVIN DESSECHE (CHARENTE-MARITIME)
2	85370	MARAI POITEVIN MOUILLE (VENDEE)
2	18437	MARCHE (CHER)
2	48418	MARGERIDE (LOZERE)
2	80037	MARQUENTERRE (SOMME)
2	07423	MASSIF DU MEZENC-MEYGAL (ARDECHE)
2	83247	MAURES ET ESTEREL (VAR)
2	33114	MEDOC (GIRONDE)
2	201260	MONTAGNE CORSE (CORSE-DU-SUD)
2	202260	MONTAGNE CORSE (HAUTE-CORSE)
2	65146	MONTAGNE DE BIGORRE (HAUTES-PYRENEES)
2	83460	MONTAGNE DE HAUTE-PROVENCE (VAR)
2	64142	MONTAGNE DU BERN (PYRENEES-ATLANTIQUES)
2	11413	MONTAGNE NOIRE (AUDE)

ALEA	n° PRA	NOM DE LA PRA
2	81413	MONTAGNE NOIRE (TARN)
2	68307	MONTAGNE VOSGIENNE (HAUT-RHIN)
2	29360	MONTS D'ARREE (FINISTERE)
2	12412	MONTS DE LACAUNE (AVEYRON)
2	81412	MONTS DE LACAUNE (TARN)
2	07425	MONTS DU FOREZ (ARDECHE)
2	42168	MONTS DU JAREZ ET BASSIN HOULLER STEPHANOIS (LOIRE)
2	69445	MONTS DU LYONNAIS (RHONE)
2	42170	MONTS DU PILAT (LOIRE)
2	11471	NARBONNAIS (AUDE)
2	82398	NERACOIS (TARN-ET-GARONNE)
2	24432	NONTRONNAIS (DORDOGNE)
2	60043	NOYONNAIS (OISE)
2	14353	PAYS D'AUGE (CALVADOS)
2	27353	PAYS D'AUGE (EURE)
2	61353	PAYS D'AUGE (ORNE)
2	27352	PAYS D'OUCHE (EURE)
2	44104	PAYS DE CHATEAUBRIANT (LOIRE-ATLANTIQUE)
2	55308	PAYS DE MONTMEDY (MEUSE)
2	35363	PAYS DE REDON (ILLE-ET-VILAINE)
2	44363	PAYS DE REDON (LOIRE-ATLANTIQUE)
2	47399	PAYS DE SERRES (LOT-ET-GARONNE)
2	82399	PAYS DE SERRES (TARN-ET-GARONNE)
2	44373	PAYS DE SEVRES-ET-MAINE (LOIRE-ATLANTIQUE)
2	74227	PAYS DE THONES (HAUTE-SAVOIE)
2	51018	PAYS REMOIS (MARNE)
2	22361	PENEPLAINE BRETONNE NORD (COTES-D'ARMOR)
2	29361	PENEPLAINE BRETONNE NORD (FINISTERE)
2	29363	PENEPLAINE BRETONNE SUD (FINISTERE)
2	72351	PERCHE (SARTHE)
2	61351	PERCHE ORNAIS (ORNE)
2	19403	PERIGORD BLANC (CORREZE)
2	24403	PERIGORD BLANC (DORDOGNE)
2	24404	PERIGORD NOIR (DORDOGNE)
2	52321	PERTHOIS (HAUTE-MARNE)
2	72355	PLAINE D'ALENCON (SARTHE)
2	63173	PLAINE D'AMBERT (PUY-DE-DOME)
2	81153	PLAINE DE L'ALBIGEOIS ET DU CASTRAIS (TARN)
2	09390	PLAINE DE L'ARIEGE (ARIEGE)
2	59324	PLAINE DE LA LYS (NORD)
2	86348	PLAINE DE LOUDUN, RICHELIEU ET CHATELLERAULT (VIENNE)
2	86349	PLAINE DE THOUARS-MONCONTOUR (VIENNE)
2	39447	PLAINE DOLOISE (JURA)
2	61355	PLAINES D'ALENCON ET D'ARGENTAN (ORNE)
2	47400	PLAINES DE LA GARONNE ET DU LOT (LOT-ET-GARONNE)
2	70447	PLAINES ET BASSES VALLEES DU DOUBS ET DE L'OGNON (HAUTE-SAONE)
2	72091	PLATEAU CALAISIE (SARTHE)
2	27080	PLATEAU DE MADRIE (EURE)
2	37073	PLATEAU DE METTRAY (INDRE-ET-LOIRE)
2	87430	PLATEAU DE MILLEVACHES (HAUTE-VIENNE)
2	15433	PLATEAU DU SUD-EST LIMOUSIN (CANTAL)
2	19433	PLATEAU DU SUD-EST LIMOUSIN (CORREZE)
2	39212	PLATEAU INFERIEUR DU JURA (JURA)
2	41435	PLATEAUX BOCAGERS DE LA TOURAINE MERIDIONALE (LOIR-ET-CHER)
2	44105	PLATEAUX BOISES NANTAIS (LOIRE-ATLANTIQUE)
2	07171	PLATEAUX DU HAUT ET MOYEN VIVARAIS (ARDECHE)
2	69194	PLATEAUX DU LYONNAIS (RHONE)
2	34412	PLATEAUX DU SOMMAIL ET DE L'ESPINOUZE (HERAULT)
2	25450	PLATEAUX MOYENS DU JURA (DOUBS)
2	38453	PREALPES (ISERE)
2	45340	PUISAYE (LOIRET)
2	58340	PUISAYE (NIEVRE)
2	46396	QUERCY BLANC (LOT)
2	82396	QUERCY BLANC (TARN-ET-GARONNE)
2	05231	QUEYRAS (HAUTES-ALPES)
2	11392	RAZES (AUDE)
2	35097	REGION CENTRALE (ILLE-ET-VILAINE)
2	56363	REGION CENTRALE (MORBIHAN)
2	74218	REGION D'ANNECY (HAUTE-SAVOIE)
2	53095	REGION D'EMBOUCHE DE L'ERVE (MAYENNE)
2	59026	REGION DE LILLE (NORD)
2	53096	REGION DE POLYCULTURE DE LAVAL (MAYENNE)
2	26221	REGION DE ROYANS (DROME)
2	35358	REGION DE SAINT-MALO (ILLE-ET-VILAINE)
2	37069	REGION DE SAINTE-MAURE (INDRE-ET-LOIRE)
2	86438	REGION DES BRANDES (VIENNE)
2	70007	REGION DES PLATEAUX (HAUTE-SAONE)
2	38457	REGION HAUTE ALPINE (ISERE)
2	09472	REGION PYRENEENNE (ARIEGE)
2	09393	REGION SOUS-PYRENEENNE (ARIEGE)
2	11470	REGION VITICOLE (AUDE)
2	83248	REGIONS FRUITIERES DE SOLLIES-PONT ET DE FREJUS (VAR)
2	82397	ROUERGUE (TARN-ET-GARONNE)
2	12161	ROUGIER DE MARCILLAC (AVEYRON)
2	17377	SAINTONGE VITICOLE (CHARENTE-MARITIME)
2	46409	SEGALA (LOT)
2	74454	SILLON ALPIN (HAUTE-SAVOIE)
2	60328	SOISSONNAIS (OISE)
2	68303	SUNDGAU (HAUT-RHIN)
2	90303	SUNDGAU (TERRITOIRE-DE-BELFORT)
2	32149	TENAREZE (GERS)
2	86372	TERRES ROUGES A CHATAIGNIERS (VIENNE)
2	08323	THIERACHE (ARDENNES)
2	59323	THIERACHE (NORD)
2	21010	TONNEROIS (COTE-D'OR)
2	70448	TROUEE DE BELFORT (HAUTE-SAONE)
2	39203	VAL D'AMOUR ET FORET DE CHAUX (JURA)
2	21204	VAL DE SAONE (COTE-D'OR)
2	52012	VALLAGE (HAUTE-MARNE)
2	33119	VALLEE DE L'ISLE (GIRONDE)

ALEA	n° PRA	NOM DE LA PRA
2	46160	VALLEE DE LA DORDOGNE (LOT)
2	33400	VALLEE DE LA GARONNE (GIRONDE)
2	51016	VALLEE DE LA MARNE (MARNE)
2	72089	VALLEE DE LA SARTHE ET REGION MANCELLE (SARTHE)
2	27332	VALLEE DE LA SEINE (EURE)
2	76332	VALLEE DE LA SEINE (SEINE-MARITIME)
2	78332	VALLEE DE LA SEINE (YVELINES)
2	38217	VALLEE DU GRESIVAUDAN (ISERE)
2	72350	VALLEE DU LOIR (SARTHE)
2	46407	VALLEE DU LOT (LOT)
2	10019	VALLEE DU NOGENTAIS (AUBE)
2	07465	VALLEE DU RHONE (ARDECHE)
2	30465	VALLEE DU RHONE (GARD)
2	41350	VALLEE ET COTEAUX DU LOIR (LOIR-ET-CHER)
2	89322	VALLEES (YONNE)
2	52322	VALLEES DE L'YONNE A LA MARNE (HAUTE-MARNE)
2	82390	VALLEES ET TERRASSES (TARN-ET-GARONNE)
2	07424	VELAY BASALTIQUE (ARDECHE)
2	43424	VELAY BASALTIQUE (HAUTE-LOIRE)
2	62325	WATERINGUES (PAS-DE-CALAIS)
2	55316	WOEVRE (MEUSE)
2	78054	YVELINES (YVELINES)
2	29100	ZONE COTIERE DE BREST (FINISTERE)
2	53357	ZONE D'ELEVAGE (MAYENNE)
2	69197	ZONE DE GRANDE CULTURE ENTRE SAONE ET BEAUJOLAIS (RHONE)
2	29101	ZONE DE PLOUGASTEL-DAOULAS (FINISTERE)
2	25447	ZONE DES PLAINES ET DES BASSES VALLEES (DOUBS)
2	01215	ZONE FORESTIERE DU PAYS DE GEX (1ERE ZONE) (AIN)
2	69200	ZONE FRUITIERE ET VITICOLE DU LYONNAIS (RHONE)
2	29103	ZONE LEGUMIERE DE LA PENEPLAINE SUD (FINISTERE)
1	08021	ARDENNE (ARDENNES)
1	63421	ARTENSE (PUY-DE-DOME)
1	15419	AUBRAC (CANTAL)
1	71442	AUTUNOIS (SAONE-ET-LOIRE)
1	23437	BAS-BERRY (CREUSE)
1	44368	BAS-BOCAGE (LOIRE-ATLANTIQUE)
1	33115	BAS-MEDOC (GIRONDE)
1	82155	BAS-QUERCY DE MONTPEZAT (TARN-ET-GARONNE)
1	52310	BASSIGNY (HAUTE-MARNE)
1	15164	BASSIN DE MASSIAC (CANTAL)
1	37074	BASSIN DE SAVIGNE (INDRE-ET-LOIRE)
1	43172	BASSIN DU PUY (HAUTE-LOIRE)
1	74456	BAUGES (HAUTE-SAVOIE)
1	73456	BAUGES (SAVOIE)
1	28342	BEAUCHE (EURE-ET-LOIR)
1	41341	BEAUCHE (LOIR-ET-CHER)
1	78342	BEAUCHE (YVELINES)
1	45341	BEAUCHE DE PATAY (LOIRET)
1	28341	BEAUCHE DUNOISE (EURE-ET-LOIR)
1	45342	BEAUCHE RICHE (LOIRET)
1	49345	BEAUGEOIS (MAINE-ET-LOIRE)
1	49356	BOCAGE ANGEVIN (MAINE-ET-LOIRE)
1	03178	BOCAGE BOURBONNAIS (ALLIER)
1	50086	BOCAGE DE COUTANCES ET SAINT-LO (MANCHE)
1	50082	BOCAGE DE VALOGNES (MANCHE)
1	72354	BOCAGE DES ALPES MANCELLES (SARTHE)
1	72093	BOCAGE SABOLIEN (SARTHE)
1	05461	BOCHAINNE (HAUTES-ALPES)
1	18436	BOISCHAUT (CHER)
1	46159	BOURIANNE (LOT)
1	91337	BRIE FRANCAISE (ESSONNE)
1	71183	BRIONNAIS (SAONE-ET-LOIRE)
1	43177	BRIVADOIS (HAUTE-LOIRE)
1	15420	CANTAL (CANTAL)
1	19420	CANTAL (CORREZE)
1	66257	CAPCIR (PYRENEES-ORIENTALES)
1	30411	CAUSSE NOIR (GARD)
1	19394	CAUSSES (CORREZE)
1	24394	CAUSSES (DORDOGNE)
1	46394	CAUSSES (LOT)
1	47394	CAUSSES (LOT-ET-GARONNE)
1	30410	CEVENNES (GARD)
1	48410	CEVENNES (LOZERE)
1	15417	CEZALLIER (CANTAL)
1	43417	CEZALLIER (HAUTE-LOIRE)
1	63417	CEZALLIER (PUY-DE-DOME)
1	71440	CHALONNAIS (SAONE-ET-LOIRE)
1	41434	CHAMPAGNE BERRICHONNE (LOIR-ET-CHER)
1	71187	CHAROLLAIS (SAONE-ET-LOIRE)
1	73453	CHARTREUSE (SAVOIE)
1	88310	CHATENOIS (VOSGES)
1	49373	CHOLETAIS (MAINE-ET-LOIRE)
1	71184	CLUNYSOIS (SAONE-ET-LOIRE)
1	68304	COLLINES SOUS-VOSGIENNES (HAUT-RHIN)
1	63181	COMBRAILLE (PUY-DE-DOME)
1	03428	COMBRAILLE BOURBONNAISE (ALLIER)
1	23428	COMBRAILLE BOURBONNAISE (CREUSE)
1	63428	COMBRAILLE BOURBONNAISE (PUY-DE-DOME)
1	86182	CONFINES GRANITQUES DU LIMOUSIN (VIENNE)
1	66255	CONFLENT (PYRENEES-ORIENTALES)
1	42191	COTE ROANNAISE (LOIRE)
1	09392	COTEAUX DE L'ARIEGE (ARIEGE)
1	50084	COTENTIN (MANCHE)
1	63166	DOMES (PUY-DE-DOME)
1	58180	ENTRE LOIRE ET ALLIER (NIEVRE)
1	44106	ESTUAIRE DE LA LOIRE (LOIRE-ATLANTIQUE)
1	77339	GATINAIS (SEINE-ET-MARNE)
1	45339	GATINAIS RICHE (LOIRET)
1	41343	GRANDE SOLOGNE (LOIR-ET-CHER)

ALEA	n° PRA	NOM DE LA PRA
1	33378	GRANDES LANDES (GIRONDE)
1	40378	GRANDES LANDES (LANDES)
1	47378	GRANDES LANDES (LOT-ET-GARONNE)
1	68001	HARDT (HAUT-RHIN)
1	01449	HAUT-BUGEY (AIN)
1	23432	HAUT-LIMOUSIN (CREUSE)
1	33116	ILOT DE POLYCLTURE DE CIVRAC (GIRONDE)
1	33127	ILOT DE POLYCLTURE DE PUJOLS (GIRONDE)
1	50081	LA HAGUE (MANCHE)
1	33137	LANDES DU MEDOC (GIRONDE)
1	11391	LAURAGAIS (AUDE)
1	31391	LAURAGAIS (HAUTE-GARONNE)
1	50354	LE MORTAINAIS (MANCHE)
1	43427	LIMAGNE (HAUTE-LOIRE)
1	63426	LIMAGNE AGRICOLE (PUY-DE-DOME)
1	63176	LIMAGNE VITICOLE (PUY-DE-DOME)
1	63174	LIVRADOIS (PUY-DE-DOME)
1	32384	LOMAGNE (GERS)
1	44365	MARAI BRETON (LOIRE-ATLANTIQUE)
1	85365	MARAI BRETON (VENDEE)
1	35099	MARAI DE DOL (ILLE-ET-VILAINE)
1	17111	MARAI DE ROCHEFORT ET MARENNES (CHARENTE-MARITIME)
1	85369	MARAI POITEVIN DESSECHE (VENDEE)
1	27051	MARAI VERNIER (EURE)
1	23431	MARCHE (CREUSE)
1	87431	MARCHE (HAUTE-VIENNE)
1	40132	MARENNE (LANDES)
1	40131	MARENSIN (LANDES)
1	15418	MARGERIDE (CANTAL)
1	43418	MARGERIDE (HAUTE-LOIRE)
1	43423	MASSIF DU MEZENC-MEYGAL (HAUTE-LOIRE)
1	61088	MERLERAUT (ORNE)
1	64140	MONTAGNE BASQUE (PYRENEES-ATLANTIQUES)
1	03425	MONTAGNE BOURBONNAISE (ALLIER)
1	25449	MONTAGNE DU JURA (DOUBS)
1	67307	MONTAGNE VOSGIENNE (BAS-RHIN)
1	54307	MONTAGNE VOSGIENNE (MEURTHE-ET-MOSELLE)
1	57307	MONTAGNE VOSGIENNE (MOSELLE)
1	90307	MONTAGNE VOSGIENNE (TERRITOIRE-DE-BELFORT)
1	88307	MONTAGNE VOSGIENNE (VOSGES)
1	42192	MONT DE LA MADELEINE (LOIRE)
1	43425	MONT DU FOREZ (HAUTE-LOIRE)
1	42425	MONT DU FOREZ (LOIRE)
1	63425	MONT DU FOREZ (PUY-DE-DOME)
1	42445	MONT DU LYONNAIS (LOIRE)
1	21443	MORVAN (COTE-D'OR)
1	58443	MORVAN (NIEVRE)
1	71443	MORVAN (SAONE-ET-LOIRE)
1	89443	MORVAN (YONNE)
1	58188	NIVERNAIS CENTRAL (NIEVRE)
1	68002	OCHSENFELD (HAUT-RHIN)
1	45063	ORLEANAIS (LOIRET)
1	77064	PAYS DE BIERE ET FORET DE FONTAINEBLEAU (SEINE-ET-MARNE)
1	40130	PAYS DE BORN (LANDES)
1	44108	PAYS DE RETZ (LOIRE-ATLANTIQUE)
1	11472	PAYS DE SAULT (AUDE)
1	47404	PERIGORD NOIR (LOT-ET-GARONNE)
1	63165	PERIPHERIE DES DOMES (PUY-DE-DOME)
1	51321	PERTHOIS (MARNE)
1	40134	PETITES LANDES DE ROQUEFORT (LANDES)
1	33135	PETITES LANDES DE VILLANDRAUT (GIRONDE)
1	10014	PLAINE DE BRIENNE (AUBE)
1	63175	PLAINE DE LA DORE (PUY-DE-DOME)
1	62324	PLAINE DE LA LYS (PAS-DE-CALAIS)
1	59028	PLAINE DE LA SCARPE (NORD)
1	63427	PLAINE DE LEMBRON (PUY-DE-DOME)
1	79349	PLAINE DE THOUARS (DEUX-SEVRES)
1	10015	PLAINE DE TROYES (AUBE)
1	42193	PLAINE DU FOREZ (LOIRE)
1	67301	PLAINE DU RHIN (BAS-RHIN)
1	68301	PLAINE DU RHIN (HAUT-RHIN)
1	42190	PLAINE ROANNAISE (LOIRE)
1	15167	PLANEZE DE SAINT-LOUR (CANTAL)
1	27079	PLATEAU D'EVREUX SAINT-ANDRE (EURE)
1	19430	PLATEAU DE MILLEVACHES (CORREZE)
1	23430	PLATEAU DE MILLEVACHES (CREUSE)
1	42189	PLATEAU DE NEULISE (LOIRE)
1	67473	PLATEAU LORRAIN NORD (BAS-RHIN)
1	57473	PLATEAU LORRAIN NORD (MOSELLE)
1	54306	PLATEAU LORRAIN SUD (MEURTHE-ET-MOSELLE)
1	57306	PLATEAU LORRAIN SUD (MOSELLE)
1	88306	PLATEAU LORRAIN SUD (VOSGES)
1	52009	PLATEAUX LANGROIS-AMANCE (HAUTE-MARNE)
1	52008	PLATEAUX LANGROIS-APANCE (HAUTE-MARNE)
1	90450	PLATEAUX MOYENS DU JURA (TERRITOIRE-DE-BELFORT)
1	25452	PLATEAUX SUPERIEURS DU JURA (DOUBS)
1	35098	POLDERS DU MONT-SAINT-MICHEL (ILLE-ET-VILAINE)
1	29102	PRESQU'ILE DE CROZON (FINISTERE)
1	44364	PRESQU'ILE GUERANDAISE ET GRANDE BRIERE (LOIRE-ATLANTIQUE)
1	31472	PYRENEES CENTRALES (HAUTE-GARONNE)
1	35357	REGION DE FOUGERES (ILLE-ET-VILAINE)
1	67304	REGION SOUS-VOSGIENNE (BAS-RHIN)
1	70005	REGION SOUS-VOSGIENNE DE HAUTE-SAONE (HAUTE-SAONE)
1	44107	REGION URBAINE ET MARAICHERE DE NANTES (LOIRE-ATLANTIQUE)
1	37071	REGION VITICOLE A L'EST DE TOURS (INDRE-ET-LOIRE)
1	70006	REGION VOSGIENNE DE HAUTE-SAONE (HAUTE-SAONE)
1	37348	RICHELAIS (INDRE-ET-LOIRE)
1	67302	RIED (BAS-RHIN)
1	68302	RIED (HAUT-RHIN)
1	72094	SAOSNOIS (SARTHE)

ALEA	n° PRA	NOM DE LA PRA
1	49347	SAUMUROIS (MAINE-ET-LOIRE)
1	86347	SAUMUROIS (VIENNE)
1	18343	SOLOGNE (CHER)
1	45343	SOLOGNE (LOIRET)
1	03429	SOLOGNE BOURBONNAISE (ALLIER)
1	58429	SOLOGNE BOURBONNAISE (NIEVRE)
1	71429	SOLOGNE BOURBONNAISE (SAONE-ET-LOIRE)
1	41065	SOLOGNE VITICOLE (LOIR-ET-CHER)
1	89442	TERRE PLAINE (YONNE)
1	90448	TROUEE DE BELFORT (TERRITOIRE-DE-BELFORT)
1	03426	VAL D'ALLIER (ALLIER)
1	18066	VAL DE LOIRE (CHER) (CHER)
1	37344	VAL DE LOIRE (INDRE-ET-LOIRE)
1	45067	VAL DE LOIRE (LOIRET) (LOIRET)
1	50083	VAL DE SAIRE (MANCHE)
1	18179	VALLÉE DE GERMIGNY (CHER)
1	10013	VALLÉE DE LA CHAMPAGNE CRAYEUSE (AUBE)
1	10020	VALLÉE DE LA CHAMPAGNE HUMIDE (AUBE)
1	49344	VALLÉE DE LA LOIRE (MAINE-ET-LOIRE)
1	57004	VALLÉE DE LA MOSELLE (MOSELLE)
1	41068	VALLÉE ET COTEAUX DE LA LOIRE (LOIR-ET-CHER)
1	66253	VALLÉSPIR ET ALBERES (PYRENEES-ORIENTALES)
1	26453	VERCORS (DROME)
1	52312	VINGEANNE (HAUTE-MARNE)
1	70309	VOGE (HAUTE-SAONE)
1	88309	VOGE (VOSGES)
1	31392	VOLVESTRE (HAUTE-GARONNE)
1	57003	WARNDT (MOSELLE)
1	54316	WOEVRE (MEURTHE-ET-MOSELLE)
1	19409	XAINTRIE (CORREZE)

ANNEXE 5

Exemple de tableau des fréquences moyennes de hauteurs de pluie pour certains seuils

Station : EMBRUN - Période 1982 - 1996

HAUTEUR	JANV	FEVR	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC	ANNEE
≥ 0.1	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
≥ 0.2	948	960	977	964	959	970	980	942	970	974	972	965	965
≥ 0.3	802	783	811	764	730	767	780	729	750	757	757	752	764
≥ 0.4	762	728	779	728	644	737	727	702	716	722	722	718	720
≥ 0.5	694	637	723	621	550	640	628	640	632	626	654	631	635
≥ 0.6	654	608	689	590	502	609	609	609	605	602	628	577	601
≥ 0.7	613	562	624	517	451	555	526	542	552	543	583	505	543
≥ 0.8	583	530	577	477	425	536	510	517	532	513	556	484	514
≥ 0.9	542	476	536	422	384	492	470	486	489	469	506	438	469
≥ 1.0	515	438	505	394	368	472	444	477	468	452	492	405	446
≥ 2.0	215	137	144	146	165	259	247	292	257	240	212	154	197
≥ 3.0	104	65	72	71	91	138	194	215	150	134	102	69	108
≥ 4.0	38	21	27	26	50	71	115	154	98	83	47	30	56
≥ 5.0	15	8	11	13	27	43	89	111	73	41	18	10	32
≥ 6.0	2	2	9	10	17	32	63	77	48	27	10	3	20
≥ 7.0	0	2	5	6	7	20	43	58	34	12	4	3	12
≥ 8.0	0	2	0	1	4	18	36	43	23	5	3	3	8
≥ 9.0	0	0	0	0	4	10	30	37	20	3	3	3	6
≥ 10.0	0	0	0	0	4	4	30	34	18	0	3	3	5
≥ 15.0	0	0	0	0	2	2	13	12	2	0	0	0	2
≥ 20.0	0	0	0	0	1	0	7	9	0	0	0	0	1
≥ 25.0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	.
≥ 30.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 35.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 40.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 45.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 50.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 55.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 60.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 70.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 80.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 90.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 100.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 150.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 200.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ecart-type	1.2	1.0	1.1	1.1	1.6	1.9	3.2	3.3	2.1	1.6	1.3	1.1	1.7
Moyenne	1.3	1.1	1.2	1.1	1.1	1.5	1.9	2	1.6	1.4	1.3	1.1	1.3
NB obs	520	628	444	780	812	506	304	325	440	733	709	624	6 825