

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté en vue de l'obtention du **DIPLOME D'AGRONOMIE
APPROFONDIE**

**Spécialisation : Gestion de l'Eau, des Milieux cultivés et de
l'Environnement**



Par
Arnaud MOKRANI

Année universitaire : 2004-2005

Organisme d'accueil :
Agence de l'eau Seine Normandie
Direction de l'Espace Rural et de l'Agriculture

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté pour l'obtention du **DIPLÔME D'AGRONOMIE
APPROFONDIE**

**Spécialisation : Gestion de l'Eau, des Milieux cultivés et
de l'Environnement**



Maître de stage : Alain DENIS
Chargé d'études ruissellements & érosions
à l'Agence de l'Eau Seine-Normandie
Responsable scientifique : François COLIN
Présenté le 07/10/2005 devant le jury :

-
-
-
-

REMERCIEMENTS

Dans un premier temps je remercie Pascal MARET et l'ensemble de son équipe de la Direction de l'Espace Rural et de l'Agriculture, pour leur accueil chaleureux. Pour m'avoir rapidement mis en confiance, et m'avoir donné les moyens de réaliser un stage dans de bonnes conditions. Je pense plus particulièrement à Carole MATHIEU et Alain DENIS, mon maître de stage, pour m'avoir suivi, conseillé et orienté durant ces six mois.

Je suis reconnaissant envers François COLIN qui m'a encadré durant ce stage et qui m'a consacré du temps pour me faire profiter de son expérience et réussir cette étude.

Un grand merci aussi à Olivier CERDAN du BRGM dont j'ai bénéficié des conseils techniques pour optimiser au mieux mon temps de travail et ainsi réussir ce projet. A travers lui, je remercie aussi le PIREN Seine et son directeur Gilles BILLEN pour avoir témoigné de l'intérêt pour cette étude, et m'avoir permis de travailler aussi avec Sylvain THERY, qui m'a fait profiter de ses compétences et gagner du temps sur mon planning, je le remercie également.

Si ce projet a pu aboutir, c'est aussi grâce au dynamisme et aux compétences de l'INRA d'Orléans, et son équipe représentée par Dominique ARROUAYS, Véronique ANTONI, Jacques THORETTE, Nathalie SCHNEBELEN. Je les remercie à leur tour.

Sans données, pas de travail possible, je pense ainsi à tous ceux qui ont pu me fournir des données, et des conseils : Frédéric BASSIEN, Sarah FEUILLETTE, Cécile GARNIER, François LAMY et l'ensemble de la DEPEE, avec son directeur Jacques BORRIES.

Je tiens à remercier l'ensemble des personnes qui ont manifesté un intérêt pour cette étude et qui, en apportant leur aide, ont contribué à son succès. Je citerai en particulier les directions de secteur pour leurs analyses critiques et leurs conseils.

Merci à l'ensemble des stagiaires qui ont participé à créer une bonne ambiance au sein du service. Je pense à remercier aussi Baptiste, Claire, Etienne, Fred et Véronique qui ont participé à colorer la vie parisienne.

J'ai une pensée pour ma famille et Barbara, pour leur soutien, leur aide et pour m'avoir permis d'évoluer dans les meilleures conditions, merci.

AVANT PROPOS

Ce travail s'inscrit dans une logique d'identification des bassins d'intervention prioritaires vis-à-vis des pollutions agricoles diffuses. Ils correspondent aux secteurs où sont à renforcer en complément de la réglementation les actions « agro-environnementales » par incitations financières. Les objectifs de l'étude sont :

La préparation du 9^o programme :

Elle passe par une sélection des secteurs prioritaires d'intervention. Il s'agit ici de cibler les actions sur des territoires parfaitement identifiés. Ce dernier programme se pose en rupture par rapport aux précédents qui avaient pour rôle de sensibiliser des acteurs et d'initier des actions. Aujourd'hui il s'agit de mieux cibler les actions, d'agir de façon préventive plus que de façon curative mais aussi de pérenniser des actions qui au final doivent pouvoir être évaluées. Il faut donc accepter de ne pas agir partout, mais là où cela est impératif. Il s'agissait pour cette étude de répondre à la question suivante : où sont les zones prioritaires d'intervention sur le bassin Seine-Normandie en terme de lutte contre l'érosion ?

La coordination des programmes d'intervention visant à l'atteinte des objectifs de la Directive Cadre sur l'Eau [DCE] et des mesures agri environnementales dans le cadre du règlement de développement rural [RDR] (axe 2 de la PAC soit notamment les MAE). Le RDR constitue le "deuxième pilier" de la PAC réformée - un pilier consacré au développement rural et non pas au soutien direct à l'activité productive agricole. Le RDR offre deux types de mesures aux Etats membres dont les mesures d'accompagnement qui sont liées à l'occupation du sol et qui sont, en général payées annuellement pendant une période donnée - MAE (mesures agri environnementales).

Protection de la ressource dans le cadre du SDAGE :

L'objectif des SDAGE est de préserver la qualité des eaux d'un point de vue qualitatif et quantitatif, ce qui va dans le même sens que l'éco-conditionnalité de la nouvelle PAC. Or même si le lien n'est pas direct (comme avec la lutte contre les phytosanitaires) l'atteinte des objectifs passe par une diminution de l'apport de matières en suspension liées au phénomène d'érosion. Le SDAGE doit donc préciser les zones concernées par cette problématique.

REMERCIEMENTS

.....	2
Avant propos	4
Liste des figures et tableaux	7
INTRODUCTION	8
INTRODUCTION	8
Première Partie : Présentation du bassin Seine – Normandie	9
I- Découpage par direction de secteur	9
II- Le relief du bassin	10
III- La pluviométrie sur le bassin Seine Normandie	11
IV- L'activité agricole	12
V- Contexte pédologique	15
Deuxième partie : Concepts élémentaires en matière de ruissellement et d'érosion	18
I- Problématique de l'érosion et du ruissellement	18
II- Les modalités de ruissellement	20
III- Comment s'est développé l'aléa érosion en France ?	21
IV- L'érosion dans les différentes régions du bassin Seine Normandie	23
V- Les grands types de processus érosifs	24
VI- Le texte de loi	26
Troisième partie : Cahier des charges de l'étude	28
I- Objectif	28
II- Planification du travail et méthode utilisée	29
Quatrième partie : Construction du modèle	31
I- Le choix du modèle	32
II- Principe du modèle	33
III- Étapes de la construction du modèle	34
III-1. L'arborescence	34
III-2. Le résultat	35
IV- Le choix et la combinaison des paramètres	35
IV-1. L'occupation des sols	35
IV-2. Les pentes	36
IV-3. Les sols	36
IV-4. Les données climatiques	37
Cinquième partie : Collecte et traitement des données	38
I- Les données Corinne Land Cover	38
II- Le Modèle Numérique de Terrain	38
III- La battance et l'érodibilité	38
IV- Les données météorologiques	39
Sixième partie : Cartographie de l'aléa érosion	41
I- Détermination de la sensibilité potentielle des sols du bassin au ruissellement	41
II- Construction de la carte de l'aléa moyen érosion	41
III- Intégration des résultats	42
IV- Validation des résultats	43
Septième partie:Analyse des résultats	45
I- Le zonage	45
II- Causes envisageables pour l'érosion :	46
Huitième partie : Les enjeux liés à l'érosion et au ruissellement	47
I- Impacts des phénomènes de ruissellement et d'érosion sur la ressource en eau	47
II- Paramètres retenus pour l'étude	49
III- Construction de la carte des risques	50
Neuvième partie : typologie de phénomènes d'érosion et moyens de lutte	51
I- Typologie des phénomènes érosifs	51
II- La lutte contre l'érosion	53
II-1. Les aides pour lutter contre l'érosion : les MAE	53
II-2. Adaptation des mesures au terrain	53
III- Déclinaison des MAE	54
CONCLUSION	56
GLOSSAIRE	58
BIBLIOGRAPHIE	62
Liste des ouvrages consultés	62
Liste non exhaustive des sites web traitant du ruissellement et de l'érosion	65
Liste non exhaustive de partenaires pour l'étude de l'aléa érosion :	65

ANNEXES	66
Annexe 1 : Liste des personnes contactées	67
Annexe 2 : Les départements du Bassin Seine Normandie.....	68
Annexe 3 : Extrait de la loi Barnier.....	69
Annexe 4 : Extrait de la loi du 30 juillet 2003	70
Annexe 5 : Extrait des données brutes de pluviométries moyennes.....	71
Annexe 6 : Extrait du géo référencement des données brutes de pluviométrie moyenne	72
Annexe 7 : Extrait des données de localisation des points de mesures des intensités de pluies.....	73
Annexe 8: Extrait des données des intensités journalières de pluie	74
Annexe 9 : Extrait des données brutes d'intensités de pluies.....	75
Annexe 10 : extraits de mails avec les directions de secteur pour la validation des cartes de l'aléa érosion :.....	76
Annexe 11 : tableau de croisement des paramètres retenus pour le modèle [d'après Joel DAROUSSIN]	81
Annexe 12 : représentation en diagramme de la table i-model d'intégration spatiale de la sensibilité des sols à l'érosion ou bien de l'aléa d'érosion des sols par unité spatiale de prise de décision ou bien de fonctionnement.....	82
Annexe 13 : Cartes ayant servies pour la détermination de l'aléa érosion sur le Bassin Seine Normandie	83

Annexe 13.1 Carte d'occupation du sol du bassin Seine-Normandie

Annexe 13.2 Carte de la battance des sols du bassin Seine-Normandie

Annexe 13.3 Carte de l'érodibilité des sols du bassin Seine-Normandie

Annexe 13.4 Carte des pentes du bassin Seine-Normandie

Annexe 13.5 Carte des précipitations moyennes hivernales du bassin Seine-Normandie

Annexe 13.6 Carte des précipitations printanières du bassin Seine-Normandie

Annexe 13.7 Carte des précipitations moyennes estivales du bassin Seine-Normandie

Annexe 13.8 Carte des intensités de précipitations hivernales du bassin Seine-Normandie

Annexe 13.9 Carte des intensités de précipitations printanières du bassin Seine-Normandie

Annexe 13.10 Carte d'érosivité des précipitations printanières du bassin Seine-Normandie

Annexe 13.11 Carte d'érosivité des précipitations estivales du bassin Seine-Normandie

Annexe 13.12 Carte d'érosivité des précipitations automnales du bassin Seine-Normandie

Annexe 13.13 Carte d'aléa érosion hivernal non intégré du bassin Seine-Normandie

Annexe 13.14 Carte d'aléa érosion printanier non intégré du bassin Seine-Normandie

Annexe 13.15 Carte d'aléa érosion estival non intégré du bassin Seine-Normandie

Annexe 13.16 Carte d'aléa érosion automnal non intégré du bassin Seine-Normandie

Annexe 13.17 Carte d'aléa érosion intégré par commune du bassin Seine-Normandie

Annexe 13.18 Carte d'aléa érosion intégré par bassin versant du bassin Seine-Normandie

Annexe 13.19 Carte de la typologie de l'aléa érosion du bassin Seine-Normandie

Annexe 13.20 Carte des enjeux de l'aléa érosion en rapport avec la protection de la ressource en eau du bassin Seine-Normandie

Liste des figures et tableaux

Erreur ! Liaison incorrecte.

INTRODUCTION

L'érosion se traduit par un transport de particules de terre et de matière organique vers d'autres parcelles, la voirie et les cours d'eau. Il s'avère que des polluants, fixés sur les particules arrachées ou dilués dans la lame d'eau, peuvent être aussi transportés. Il apparaît que ce phénomène peut avoir des conséquences néfastes à plus d'un titre. Nous pouvons tout d'abord observer une perte de la couche arable du sol (réduction de la fertilité, baisse de rendement et dégradation de la structure), une accumulation de dépôts de sédiments sur la voirie, une augmentation de la turbidité de l'eau et un apport important en polluant. Au-delà de l'aspect purement agricole de ce problème, l'érosion apparaît donc comme un phénomène irréversible qui affecte aussi la qualité des eaux. Ce rapport s'intéressera exclusivement aux conséquences de l'érosion sur la ressource en eau. La principale cause de l'érosion, est l'action combinée de la pluie et du ruissellement. En effet, au fur et à mesure des précipitations, l'infiltration diminue progressivement et une croûte de battance se met alors en place. A partir de là, commence le ruissellement qui arrache et entraîne des particules de terre. C'est la combinaison d'une multitude de facteurs qui détermine la sensibilité des sols à l'érosion (*WICHEREK*, 1995). Ainsi l'érosion est principalement déterminée par quatre facteurs : le sol, l'occupation du sol, la topographie et la pluviométrie.

Il est possible de distinguer dans un premier temps deux types d'érosion : l'érosion diffuse (qui n'affecte que les éléments les plus fins) et l'érosion linéaire qui apparaît dès que les pentes sont fortes ou que les écoulements sont concentrés. C'est la deuxième qui cause les dégâts les plus spectaculaires (rigoles et ravines). Certains comportements agricoles ont d'ailleurs tendance à aggraver le phénomène d'érosion (tassement des terres par les machines agricoles, le désherbage chimique, la diminution du taux de matière organique dans le sol...). Ainsi, si les problèmes d'érosion hydrique sont anciens, ils se sont surtout manifestés depuis une cinquantaine d'années avec les modifications des pratiques agraires.

Aujourd'hui la méthode de cartographie du risque érosif est devenue un outil de gestion permettant de mieux cibler les zones les plus sensibles, et donc de hiérarchiser les stratégies à mettre en place pour lutter contre l'érosion. Une étude ayant été réalisée par l'Institut Français de l'Environnement [IFEN], à l'échelle nationale, nous savons aujourd'hui que ce bassin connaît d'importants problèmes liés au ruissellement et à l'érosion. Au niveau du Bocage Normand (sur le Pays d'Auge (érosion sur plateaux), le Nord de Caen (érosion sur limons) et dans le sud Manche (érosion sur sols sableux, sur zone de pente et de culture de maïs). Enfin, dans la zone géographique Seine- Aval et la Haute- Normandie figurent d'autres zones très sensibles [la champagne par exemple]. L'objectif de cette étude est de réaliser une cartographie de l'aléa érosion, sur l'ensemble du bassin Seine Normandie, en s'appuyant sur l'étude réalisée par Yves LE BISSONNAIS *et al* en 2002 (*LE BISSONNAIS*, 2002). Il s'agit de réactualiser le modèle en utilisant des données récentes, et d'apporter des données plus précises quand cela sera possible. L'idée est qu'il vaut mieux financer du préventif que du curatif dans un contexte de durabilité, afin d'optimiser les actions. Pour ce faire, il convient de parfaitement cibler les territoires où il faut agir, par un diagnostic complet et détaillé. L'objectif est de parvenir à des actions localisées, fortes et évaluables. Pour cela, il faut redéfinir plus finement les zones à risques, en réactualisant les Zones d'Actions Renforcées [ZAR] ou en les remplaçant par de nouvelles zones d'actions prioritaires. Ceci doit permettre de pouvoir apporter une aide aux territoires situés en dehors des ZAR et qui ne peuvent pas être aidés à ce jour. Premièrement nous décrirons le contexte dans lequel s'établit cette étude, en nous attachant aux particularités qui favorisent l'apparition de phénomènes d'érosion. Ensuite nous présenterons à travers le cahier des charges la méthodologie employée. Enfin, nous analyserons les cartes obtenues pour l'aléa érosion, avant de nous intéresser aux enjeux liés à la protection de la ressource en eau. Nous conclurons cette étude par une estimation des coûts liés à la lutte contre l'érosion.

Première Partie : Présentation du bassin Seine – Normandie

Les agences de l'eau sont des établissements publics administratifs, dotés de la personnalité civile et de l'autonomie financière. Elles sont placées sous la tutelle du ministère chargé de l'environnement et sous celle du ministère chargé des finances. Il en existe six en France dont l'Agence de l'eau Seine Normandie. Chacune a en charge un territoire plus ou moins grand qui présente des spécificités liées aux activités humaines, aux climats... La partie qui suit a pour but de présenter les grandes caractéristiques du bassin.

I- Découpage par direction de secteur

Le bassin Seine Normandie comprend 8 régions, 25 départements [Annexe2] et 9000 communes. Ce bassin est un des plus importants d'Europe. En effet il possède une surface de 100 000 km² (soit 1/5 du territoire) sur lesquels vivent 17 millions d'habitants. L'activité y est dense, avec 40% de l'activité industrielle du pays et 60% de sa superficie répartie en terres agricoles. Les pressions qui s'exercent sur la ressource y sont donc importantes.



Figure 1 : présentation du bassin Seine Normandie

L'ensemble du bassin est subdivisé en 6 sous-bassins, auxquels correspondent 6 directions de secteur. Ces zones définissent les périmètres d'action des commissions géographiques du bassin Seine Normandie :

- Bocages normands,
- Seine Aval,
- Rivières d'Île de France,
- Vallée d'Oise,
- Vallée de Marne,
- Seine Amont.

II- Le relief du bassin

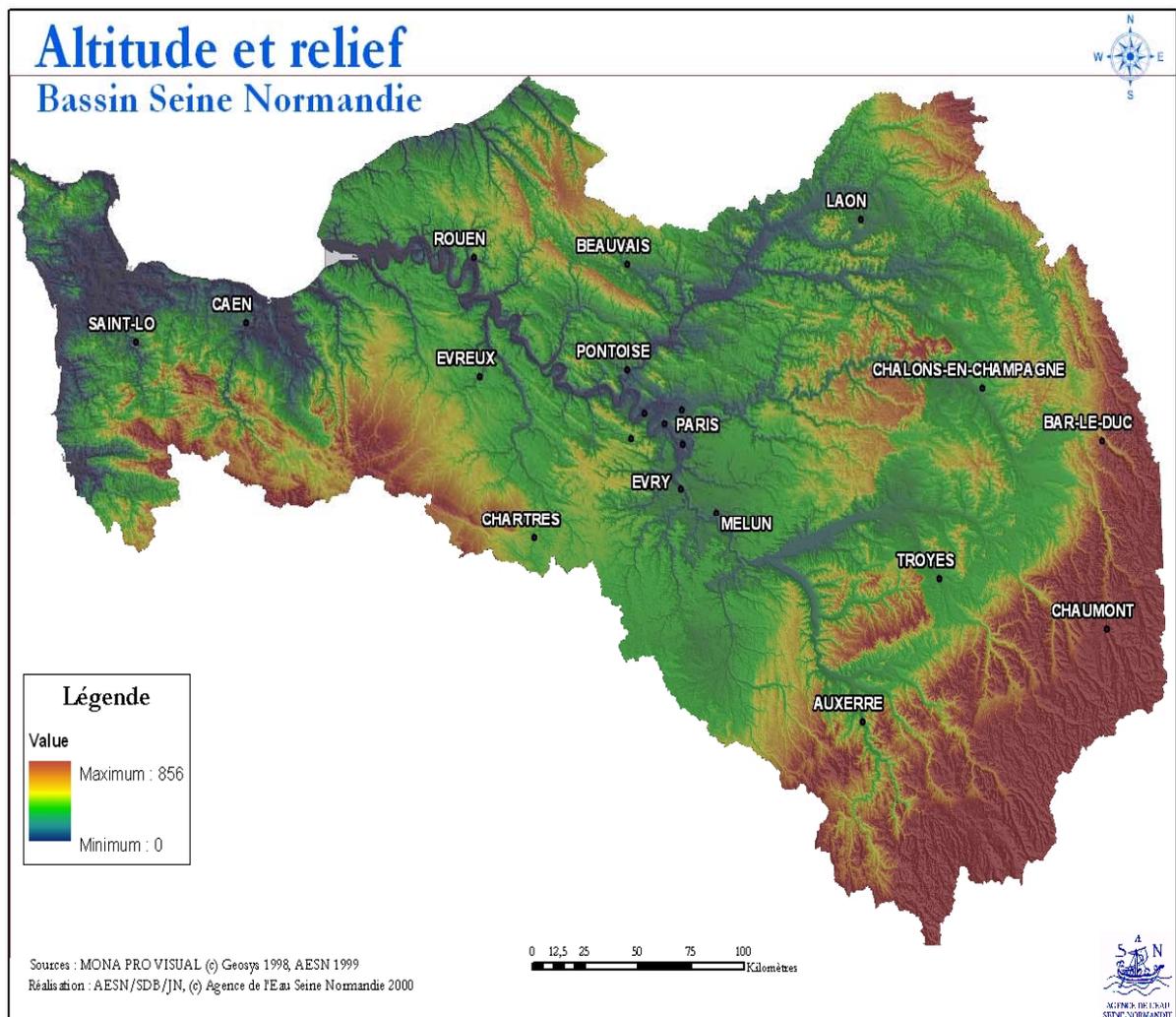


Figure 2 : Carte de l'altitude du relief et de l'altitude du bassin Seine Normandie

Le bassin Seine Normandie se caractérise globalement par un relief peu marqué. Le sommet le plus élevé culmine à 856m et la majeure partie de son territoire n'est pas située en zone de montagne. Ainsi dans le cadre de cette étude, l'érosion en zone de montagne qui se caractérise par de très fortes pentes ne représentera qu'une partie ponctuelle du Géo référencement. Dans un tel contexte, si l'on veut repérer les accidents du relief, il faudra travailler à une échelle très fine. Il est important de préciser qu'en ce qui concerne l'érosion, surtout en zones de grandes cultures, des pentes de l'ordre de 3% peuvent avoir des conséquences relativement importante sur le phénomène. Ceci est bien évidemment accentué par des champs qui sont travaillés dans le sens de la pente, avec des surfaces très travaillées, et donc un sol très érodible. Il est souvent difficile de changer l'orientation du travail des parcelles car il s'agit d'un héritage historique marqué par la présence de chemins, de routes et le dimensionnement des parcelles.

III- La pluviométrie sur le bassin Seine Normandie

Le climat sur le bassin Seine Normandie, est de type tempéré. Comme le montre la carte, la majeure partie des précipitations est comprise entre 600 et 800 mm. Les mois les plus pluvieux sont compris entre le mois de septembre et le mois de janvier, ainsi qu'en mai et juin. On peut d'ores et déjà penser que l'érosion diffuse va être le type d'érosion le plus répandu. En outre, on apprend à la lecture de cette carte que les mois les plus pluvieux, sont en automne/hiver, période où les sols agricoles sont les plus sensibles.

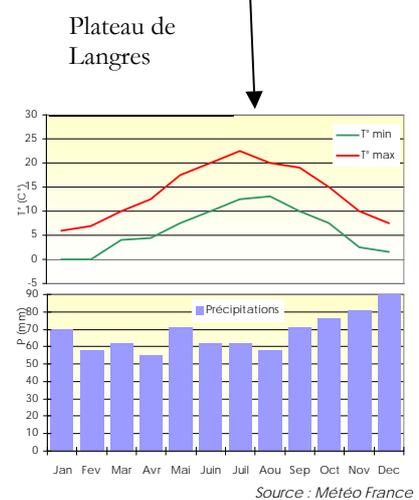
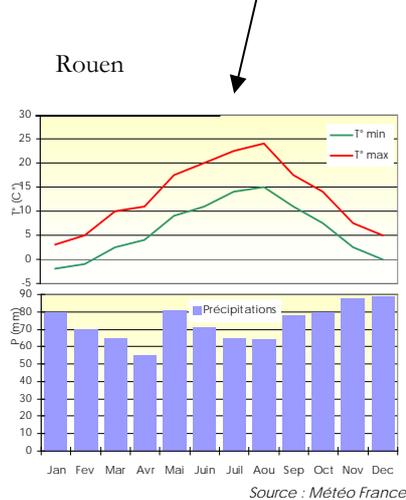
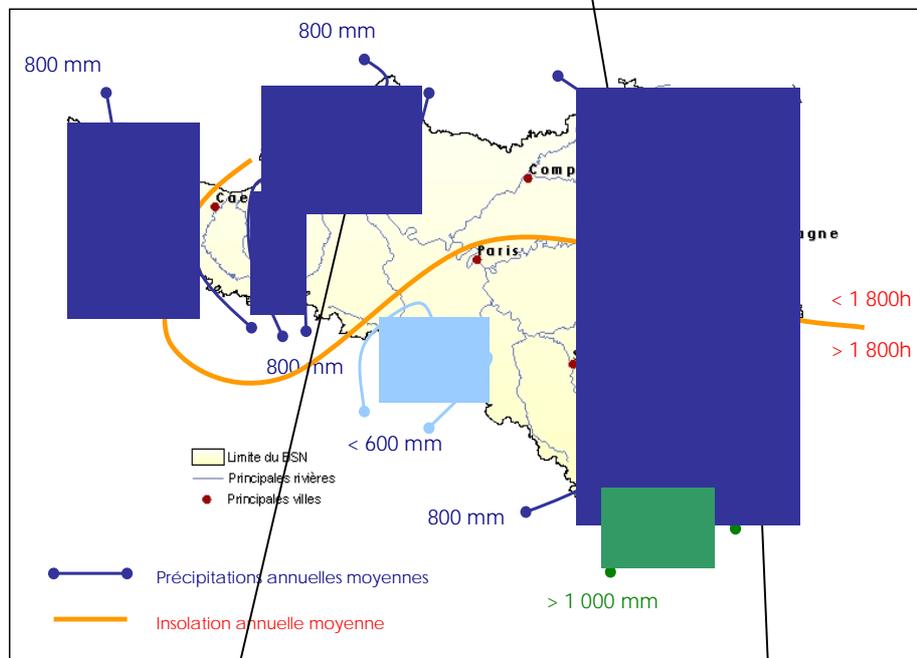
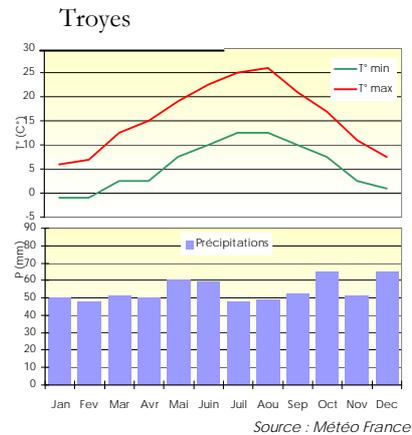


Figure 3 : Données générales sur la pluviométrie du bassin Seine Normandie (source : Cécile Hérviaux / 2003)

IV- L'activité agricole

Une très grande surface du bassin Seine Normandie est occupée par les céréales, les oléoprotéagineux et les cultures industrielles. Ces cultures concernent à elles seules 34% des exploitations du BSN, qui sont pour la plupart au centre du bassin. Les céréales occupent près de la moitié de la Surface Agricole Utile [SAU]. Le fait est que ces zones présentent a priori une sensibilité importante au ruissellement et à l'érosion. En effet les parcelles y sont très grandes (plus de 150Ha par exploitation pour une majorité) et résultent d'un remembrement qui a provoqué la disparition des haies, talus, fossés... qui constituaient autant d'entraves et de réceptacles au ruissellement de l'eau. Ceci est aggravé par le fait que ces cultures (comme le blé tendre) laissent souvent les sols nus en hiver au moment où l'érosion peut-être importante. Un autre problème est la sensibilité des inter rangs (comme pour le maïs) où l'érosion linéaire peut être très importante.

En périphérie du bassin, on trouve des exploitations de polycultures élevage. Comme leur nom l'indique, elles associent l'exploitation des grandes cultures à des ateliers d'élevage. C'est le cas en Basse Normandie, dans le Morvan... où l'on observe toutefois des problèmes d'érosion. Ceci s'explique par la présence de cultures qui laissent les sols nus en Automne hiver, on peut citer la pomme de terre. Cette culture, pose le problème en outre, de présenter des inter rangs où la terre est tassée et où se produit un problème d'érosion linéaire important. On y retrouve un nombre de parcelles important de cultures industrielles, qui comme la pomme de terre laissent les sols nus l'hiver. Cet aspect est repris dans les notions d'agronomie rappelées ci-dessous.

Enfin, on retrouve sur quelques sites isolés des vignobles, notamment en Champagne et en Bourgogne. Représentant une faible part de la SAU du bassin, la culture de la vigne représente toutefois 15% des exploitations du BSN.

A partir du graphique exposé ci-dessous, il apparaît que les principales Orientations Technico-économiques des Exploitations agricoles [OTEX] (en terme de Surface Agricole Utile [SAU]) sur le Bassin Seine Normandie [BSN] sont: les céréales et les oléoprotéagineux, les cultures générales et les grandes cultures herbivores. À partir de là, on observe que la zone étudiée présente un risque non négligeable de ruissellement et d'érosion. En effet, plusieurs caractéristiques favorisant l'érosion en zones agricoles peuvent être citées:

- **La spécialisation des cultures :** plus on retrouve une culture sur un bassin et plus on a de chances d'avoir de nombreuses parcelles attenantes présentant la même culture. On se retrouve alors avec de très nombreuses parcelles (équivalentes à une très grande parcelle) qui seront conduites de la même façon. Ainsi, si ce type de conduite comporte un risque par rapport à l'érosion, on développe un terrain très vulnérable au ruissellement, qui sera d'autant plus sensible que la surface sera grande.
- **Le recul des surfaces toujours en herbe :** parallèlement à une faible proportion d'élevage. En ce qui concerne les prairies temporaires et permanentes, elles ne représentent en moyenne que 5% de la SAU des sous-bassins. Seule la vallée de Marne culmine à 11% de surface en herbe sur la SAU. Entre 1988 et 2000 la surface des Surface Toujours en Herbe [STH] ont diminué de 22%.

Le premier point à retenir est que le remembrement a fait apparaître de très grandes parcelles. Or outre le fait d'uniformiser le paysage et de constituer des terrains favorables à l'érosion, on a assisté à une modification importante des paysages. Ainsi tous les éléments structurants de ce dernier ont disparu : haies, bandes enherbées, chemins..., à travers cela c'est une disparition des obstacles au ruissellement à laquelle on a assisté.

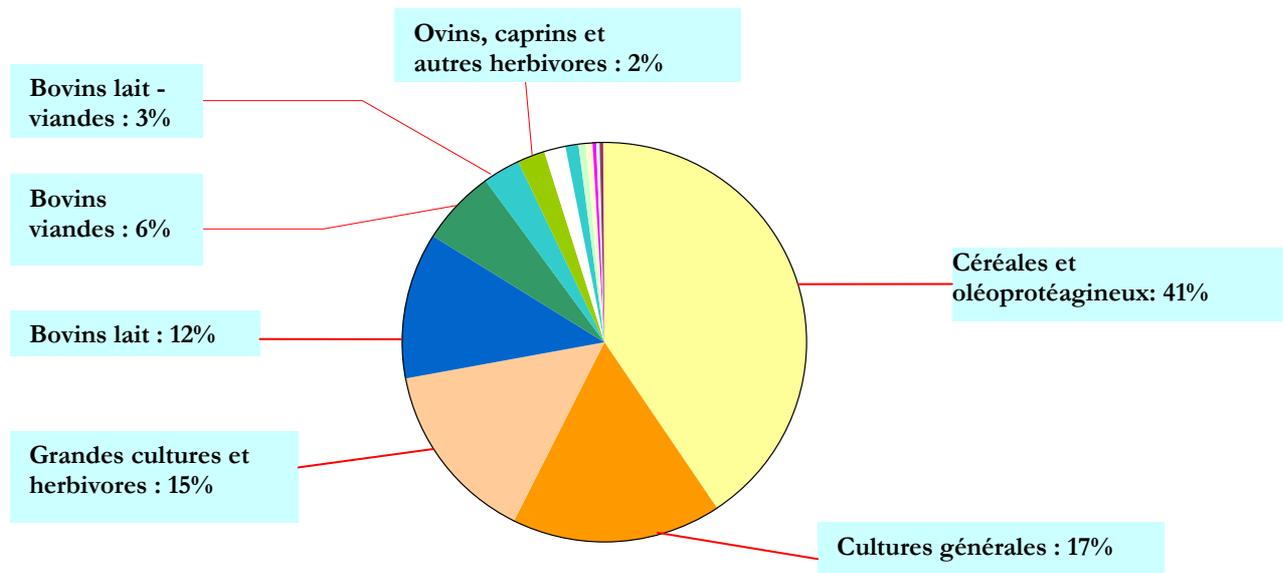


Figure 4 : Part des OTEX dans la SAU – BSN 2000
 (d'après Agreste – RA 2000)
 Sources : Cécile Hérivaux 20031

Quelques notions d'agronomie...

Il est important de replacer ce contexte agricole par rapport aux différentes cultures que l'on retrouve sur le bassin. L'accent est mis sur le reclassement des cultures en céréales, protéagineux... afin de mieux comprendre les enjeux qu'elles représentent. Le deuxième point important est la date des semis / récolte pour savoir quelle culture est susceptible de laisser les sols nus l'hiver.

Céréales :

Plantes cultivées pour leurs grains, dont on tire la farine. Il s'agit principalement des céréales à paille cités ci dessous, ainsi que le riz, le sorgho et le Millet. Ce sont les cultures les plus développées dans le bassin. La plupart des céréales font partie de la famille des graminées (blé, avoine, riz, orge, maïs, sorgho), à l'exception du sarrasin (ou blé noir) qui appartient aux polygonacées.

Le maïs :

Le maïs est semé entre avril et mai. La plante fleurit en juillet août. De mi-juillet à mi-août, le panicule émet du pollen : les ovules sont fécondés et les feuilles terminent alors leur croissance. La récolte a lieu à la fin du mois d'août pour le maïs ensilage et à la fin du mois de septembre pour le maïs grain.

Blé tendre d'hiver :

Ce sont des céréales, dont la période de semis correspond à la période qui s'étend de début octobre à la fin du mois de novembre. La récolte a lieu de mi-juillet à début août.

Orge d'hiver :

Les dates de semis se situent dans les vingt premiers jours d'octobre et la récolte a lieu de la fin du mois de juin à mi juillet. **Remarque :** le triticale, autre céréale, laisse les sols nus l'hiver.

Protéagineux :

Les protéagineux sont des plantes dont les graines sont riches en protides (protéines) (20 à 40%). Ce sont, soit des graines (pois), soit des co-produits de la production avec la production de tourteaux qui sont utilisés comme source de protéines pour l'alimentation animale. Ces cultures appartiennent à la famille des Papilionacées (Légumineuses), elles ont par conséquent la capacité à fixer l'azote atmosphérique par l'intermédiaire de bactéries. Ce sont donc des cultures pour lesquelles il n'est pas nécessaire de faire des apports azotés. On y classe le lupin, la luzerne, les pois d'hiver et de printemps, les féveroles et le soja. D'une manière générale, même si cela n'est pas vrai pour tous, on pourra considérer qu'ils laissent les sols nus l'hiver.

Les oléagineux :

Ce sont des plantes cultivées pour la richesse en huiles de leurs graines. Le colza est le principal oléagineux cultivé en France et en Europe. Les autres cultures sont le tournesol, le soja et le lin. Il faut noter que de plus en plus, le terme d'oléo protéagineux est utilisé car nous utilisons l'huile des espèces, mais également les sous-produits riches en protéines : les tourteaux.

Le colza : est semé entre le 15 et le 30 août pour être récolté en juillet.

Le tournesol : est semé vers la fin du mois de mars pour être récolté en juillet.

La betterave :

La plupart des semis s'effectuent entre le 20 mars et le 15 avril, lorsque il n'y a plus de risque de fortes gelées et que les conditions climatiques le permettent. Il faut que la terre soit suffisamment réchauffée pour permettre la germination des graines. La campagne de récolte en France a lieu, en moyenne, de la fin du mois de septembre à la fin du mois de novembre, selon un calendrier qui obéit à des règles précises pour garantir un approvisionnement régulier des sucreries.

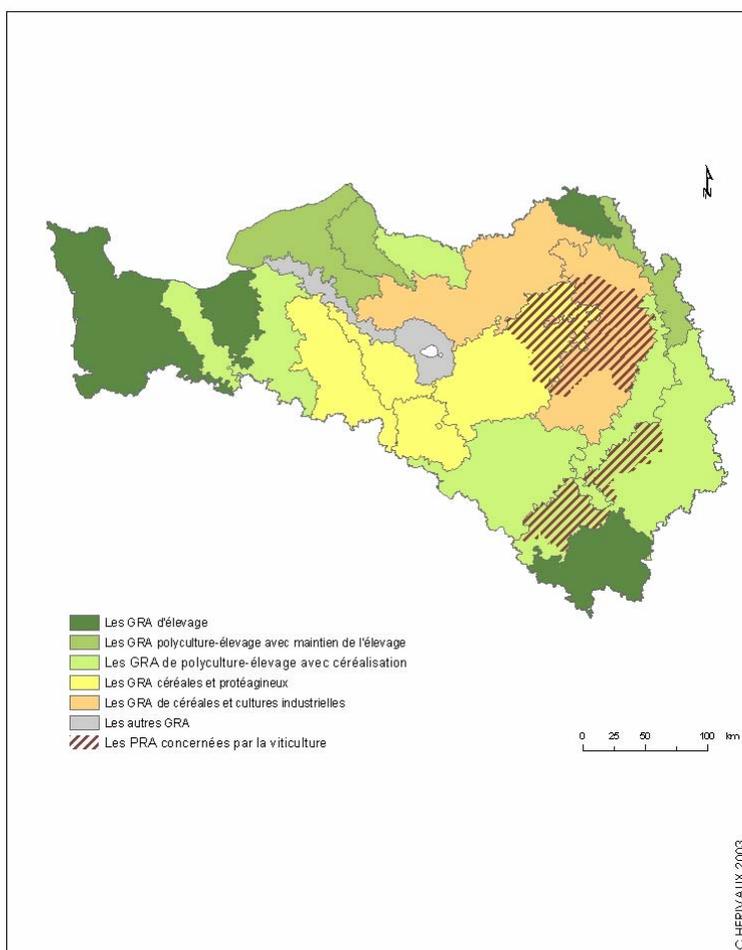
La pomme de terre :

Elle est semée entre la mi-mars et la fin du mois d'avril, sa récolte s'étale de juin (pomme de terre primeur) à septembre.

Les problèmes rencontrés peuvent s'expliquer de différentes manières. En ce qui concerne les cultures pérennes (vignes et vergers) des inter rang très travaillés offre une surface de sol nue, où les particules de terres peuvent être facilement arrachées.

En ce qui concerne, le maïs et la pomme de terre, ces problèmes peuvent aussi se rencontrer étant donné que les inter rangs peuvent aussi être importants (environ 50cm). De plus les traitements de desherbage effectués sur ces surfaces rendent les particules susceptibles d'être arrachées très dangereuses car riches en produits phytosanitaires. Enfin, ces cultures et d'autres (betteraves, maïs, tournesol...) laissent les sols nus en hiver, période de pluies intenses.

Les types de grandes régions agricoles



La carte des Grandes Régions Agricoles présente la répartition des cultures sur le bassin Seine Normandie. Elle permet de mieux apprécier les zones potentiellement à risques, ainsi que leurs surfaces. En outre, elle permet de mieux connaître le territoire sur lequel portera cette étude. À la vue de cette carte, tout laisse à croire que les zones qui vont être les plus sensibles, seront au centre/centre-est du bassin Seine-Normandie. En effet, c'est dans cette zone que l'on retrouve les cultures qui présentent *a priori* le plus de risques pour l'érosion :

- viticulture,
- grandes cultures (céréales et oléoprotéagineux).

Figure 5: répartition des types d'activités agricoles intégrée en grandes régions agricoles (source: Cécile Hérivaux 2003)

V- Contexte pédologique

Le Bassin Seine Normandie a vu se développer sur son substratum géologique de nombreux types de sol. La classe la plus représentée est celle des argiles. L'épaisseur de ces couches de sols peut varier de façon importante sur l'ensemble du bassin (d'un mètre à environ une vingtaine de mètres). (BLUM, 2003)

Exemple de sols pouvant poser problème :

Sols sur alluvions fins : ce sont des sols riches mais qui restent compacts et excessivement humides.

Sols profonds sur limon : ils font partis de la famille des sols bruns lessivés. Alors qu'ils sont riches et bien drainés, ils présentent une sensibilité forte à la " battance ", c'est-à-dire à la formation d'une croûte superficielle sous l'effet de la pluie. De ce fait ils sont très sensibles à l'érosion.

Ce qui rend les sols fragiles, comme les sols bruns lessivés c'est la proportion importante de particules grossières qui provoquent un appauvrissement des horizons supérieurs notamment en matière organique, argiles... De ce fait ils deviennent très sensibles à la battance, et donc à l'érosion. De plus, l'uniformité granulométrique des sols limoneux est un facteur d'érodabilité.

Selon BOIFFIN, la dégradation des sols limoneux cultivés peut être décomposée en deux phases successives bien distinctes :

- Dans un premier temps, la surface du sol travaillée et ouverte se ferme progressivement du fait du " Splash " - c'est le rejaillissement des particules fines entraînées par les gouttes de pluie-. L'éclatement des mottes par la pluie de forte intensité associé à l'effet splash entraîne le colmatage de la surface du sol formant ainsi une croûte de battance. Le sol devient ainsi compact sur quelques millimètres et la vitesse à laquelle l'eau peut s'infiltrer dans cette croûte structurale diminue.

- Dès que la vitesse à laquelle la pluie tombe devient supérieure à celle à laquelle elle peut s'infiltrer, des flaques peuvent se former. Les particules détachées par le splash, mises en suspension, vont se déposer à des vitesses différentes suivant leur taille, formant une croûte sédimentaire dont l'infiltrabilité sera encore réduite (AUZET, 1987).

Pour les autres types de sol, le tableau de la page -12- précise leurs localisations, leurs qualités mais aussi en quoi ils peuvent être sensibles à la battance, à l'érodabilité... et d'une manière plus générale à l'érosion (VAN CAMP, 2004).

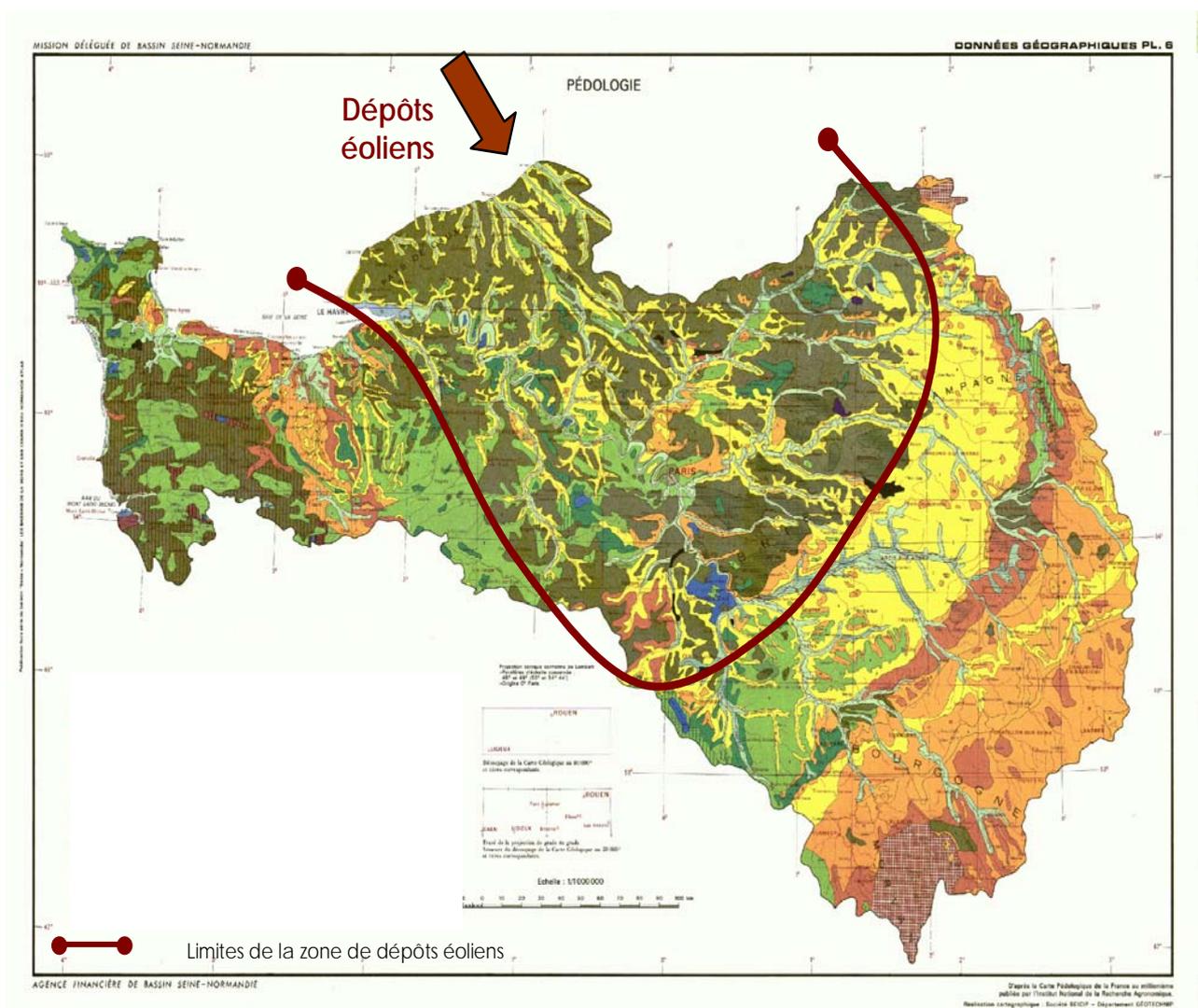


Figure 6 : carte pédologique du bassin Seine Normandie (JAMAGNE, 2001)

Type de sol	Régions naturelles	Principales caractéristiques	Protection ressource eau	Origine	Sur la carte...
Sols bruns lessivés	2 110 000 ha <i>Picardie, Pays de Caux, Beauce, Briè, Soissonais</i>	Couverture limoneuse riche, bonnes propriétés physiques et chimiques, limons épais (1 à 20 m)	Bonne protection eaux souterraines, risque de battance et hydromorphie (ruissellement, érosion)	Limons éoliens, par lessivage	Kaki (dans zone de dépôts éoliens)
Sols lessivés	1 240 000 ha <i>Bocages normands, Ouche, Othe, Gâtinais, Argonne</i>	Propriétés variables selon teneur en argile, sols acides et battants, pas particulièrement riches	Protection moyenne eaux souterraines (sols peu épais) et risque de battance (ruissellement, érosion)	Lessivage	Vert
Sols bruns lessivés et sols bruns acides	470 000 ha <i>Bocages normands</i>	Épaisseur moindre, sols acides	(Peu de réserves souterraines)	Sur socle primaire, par lessivage	Kaki (hors dépôts éoliens)
Sols bruns eutrophes	570 000 ha <i>Pays d'Auge, Bocages normands, Champagne humide, Beauce</i>	Sols lourds, imperméables	Bonne pour les eaux souterraines, mais ruissellement vers eaux superficielles	Sur formations argileuse, par lessivage	Orange foncé
Sols podzoliques et podzols	330 000 ha <i>Taches disséminées (Rambouillet, Puisaye, Valois, Soissonais, Normandie, Fontainebleau)</i>	Sols pauvres à vocation surtout forestière	Bonne	Podzolisation	Vert foncé et bleu
Rendzines typiques	1 900 000 ha <i>Champagne crayeuse et bordures des plateaux crayeux de Normandie, Beauce et Île de France</i>	Sols peu épais, mais aptes à de nombreuses cultures	Faible protection	Sur formation crayeuse, par lessivage et podzolisation	Jaune
Rendzines rouges	850 000 ha <i>Calcaires jurassiques, plaine de Caen</i>	Teneur élevée en oxyde ferrique, structure stable	Faible	Sur formation calcaire jurassique, par lessivage et podzolisation	Orange

Tableau1 : Organisation des grandes zones pédologique du bassin Seine Normandie
[source : Cécile Hérivaux(2003)]

Le bassin Seine Normandie, présente quelques zones avec des sols sensibles à la battance, des reliefs accentués autour de ruisseaux encaissés, facteurs favorables aux phénomènes de ruissellement et d'érosion. En outre, la modification du paysage agraire, mais aussi le facteur climatique façonnent un contexte favorable à l'érosion des terres. Il est important de rapporter les déterminismes de ce phénomène, aux caractéristiques du territoire.

Deuxième partie : Concepts élémentaires en matière de ruissellement et d'érosion

Le ruissellement est un terme du bilan hydrique du sol. Ce dernier reçoit par le biais des précipitations et de l'irrigation un volume d'eau qui s'infiltrate ou ruisselle. La part du ruissellement est difficile à mesurer et ce d'autant plus qu'elle varie de façon importante dans le temps et dans l'espace. Il faut tenir compte des hauteurs de précipitation, de leurs intensités, mais aussi des caractéristiques du sol (états de surfaces, textures, humidité initiale) et de la topographie du terrain.

Légende :

- P= Précipitation
- T= Transpiration
- E= Evaporation
- I= Infiltration
- R= Ruissellement
- S= Réserve Utile
- D= Drainage
- C= Remontée Capillaire

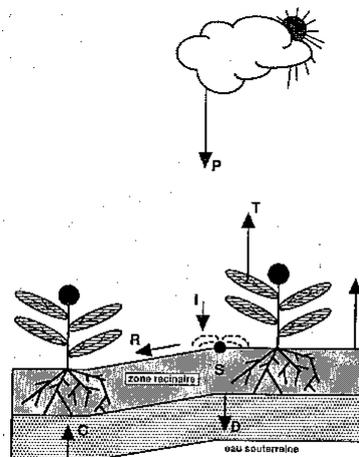


Figure 3.8. Représentation schématique des termes du bilan hydrique montrant le stockage et le flux de l'eau dans le système plante-sol-air.
E : évaporation ; T : transpiration ; P : pluie ; I : irrigation ; R : ruissellement ; D : drainage ; C : remontées capillaires ; S : stock d'eau dans la zone racinaire.

Figure7 : Représentation schématique du bilan hydrique du sol

I- Problématique de l'érosion et du ruissellement

Le premier problème auquel on peut penser en terme de ruissellement et d'érosion est le transport des particules de terre. A elles seules, elles provoquent d'importants dégâts, ne serait ce que par l'augmentation de la turbidité de l'eau. Ce problème concerne bien sûr les eaux superficielles, mais aussi les eaux souterraines quand elles sont situées en milieux karstiques. En effet, dans ces milieux, des infractuosités permettent à la lame d'eau ruisselant de gagner quasi instantanément la nappe. Ces problèmes peuvent avoir de graves conséquences lors de l'approvisionnement d'eau potables. Pour les eaux superficielles, cet apport de particule augmente la turbidité, et perturbe l'écosystème en diminuant le flux de lumière.

En outre, ces particules fines de terre peuvent colmater les fonds de rivière et conduire à terme à un envasement des fonds, des colmatages de frayères. Tout cela perturbe évidemment la vie des organismes benthiques. (*LE GOUEE*, 2004)

Les particules de terres arrachées aux sols agricoles peuvent poser bien d'autres problèmes. Parmi les intrants utilisés en agriculture, il y a les engrais. Le phosphore est celui qui va poser problème dans le cas du ruissellement. Dissous dans le lame d'eau ou adsorbés sur les particules de terre, il est transporté vers les cours d'eau, voire vers les nappes. Or l'excès de ces éléments nutritifs favorise la prolifération d'algues et altère la potabilité, le goût, l'odeur et la couleur de l'eau. Les problèmes qu'ils se posent sur le plan récréatif ou de la potabilité de l'eau sont bien réels. En effet l'eutrophisation qui en découle, provoque la prolifération d'algues, ces dernières empêchent la lumière de parvenir dans l'eau et diminue la teneur en oxygène. (*DUPIEZ*, 1990)

La vie aquatique est perturbée. La dernière étape consiste à l'empêchement de la photosynthèse. Les algues en surnombre finissent par se décomposer, et provoque la prolifération de bactéries.

Outre les engrais, les produits phytosanitaires (qui parviennent jusqu'aux ressources en eau à travers le ruissellement) posent aussi des problèmes. L'essentiel de la pollution est le fait d'une dizaine de molécules, dont principalement les herbicides de la famille des triazines. Ils posent problème en terme de risque sanitaire, au niveau des captages d'eau potable. Même si les connaissances sont faibles sur les conséquences de leurs mélanges ou sur les effets de leur ingestion régulière en dose minime. Dans tous les cas, ils perturbent eux aussi la vie aquatique en dégradant les écosystèmes (disparition de plantes aquatiques, concentration dans les chaînes trophiques...). (*AUZET*, 1987)

Enfin il se produit aussi, dans les zones d'élevage particulièrement, des contaminations organiques (liées aux apports provenant des parcelles). Les rejets d'effluents organiques ou réducteurs dans le milieu naturel ont pour effet principal de diminuer la quantité d'oxygène (ceci est évalué par la demande en oxygène). Par extension, ces apports posent des problèmes d'ordre bactériologique au niveau des points de captage d'eau potable.

Enfin, les agriculteurs sont aussi largement affectés. Les avatars sont nombreux : destruction des semis dans la zone de décapage, destruction de la texture des sols avec les inconvénients qui s'y rapportent (pertes de fertilité des sols, envasement des semis, perte de la couche superficielle, problème pour se rendre sur les parcelles avec les machines agricoles...). Le problème reste que ce phénomène peut d'une certaine manière s'entretenir. En effet, en arrachant les particules de sols, la réserve utile [réserve d'eau du sol accessible par les racines des plantes] diminue. De ce fait, le ruissellement en cas de précipitation, apparaît de plus en plus en tôt.

De plus, quelques problèmes d'ordre plus général peuvent être observés, comme des dépôts sur la voirie, qui devront faire l'objet d'enlèvements spécifiques.



Figure 8 : Photo de ravine au milieu d'une parcelle de blé

Si les pertes de production liées à l'érosion (2 à 5 %) sont modestes et facilement compensées à l'échelle régionale par l'emploi de nouveaux intrants (engrais, drainage, mécanisation du travail du sol), la perte de fertilité des sols est réelle. Sur le long terme, c'est tout un patrimoine qui est « affecté ».

Si on compare la qualité des terres érodées et des eaux ruisselées recueillies à l'aval des parcelles d'érosion, au sol en place sur 10 cm et ceci en fonction du couvert végétal et de l'intensité des pertes par érosion, on observe (Roose, 1977):

- que les pertes en nutriments croissent parallèlement au volume ruisselé et érodé; les teneurs en nutriments décroissent moins vite que n'augmentent les volumes de terre et d'eau déplacés,
- on retrouve, proportionnellement, bien plus d'éléments nutritifs dans les eaux et les terres érodées que dans le sol en place (horizon: 10 cm); ceci est net pour le carbone, azote, phosphore, l'argile, les limons jusqu'à (50 microns) et encore plus flagrant pour les bases échangeables (14 à 18 fois plus sous culture); l'érosion en nappe est donc sélective vis-à-vis des nutriments et des colloïdes qui font l'essentiel de la fertilité des sols,

Un autre effet du ruissellement, général quel que soit le climat, c'est de réduire le temps de concentration des eaux pluviales, d'augmenter les débits de pointe (donc les transports solides et les dimensionnements des ouvrages) et de réduire les débits de base des rivières, en particulier en saison sèche où l'on a besoin de l'eau pour irriguer.

II- Les modalités de ruissellement

On distingue trois types de ruissellement (*LE BISSONNAIS*, 1996):

- l'effet piston : l'eau est stockée dans les parties superficielles du sol, et de nouvelles précipitations provoquent la résurgence de cette eau qui se met alors à ruisseler.
- le ruissellement hortonien : l'intensité des précipitations est supérieure à la capacité d'infiltration des sols, l'eau se met directement à ruisseler.
- le ruissellement de saturation : le volume des précipitations dépasse la capacité de stockage des sols, l'eau ne pouvant plus s'infiltrer, elle ruisselle.

Si ces trois phénomènes sont distincts en théorie, sur le terrain il n'en est rien. Il n'est pas rare qu'ils apparaissent en même temps, et qu'ils soient complémentaires les uns des autres.

En effet l'effet piston peut par exemple retarder l'apparition d'un ruissellement à saturation, comme le ruissellement hortonien peut retarder la saturation du sol. L'ensemble des mécanismes régissant le phénomène de ruissellement et donc l'érosion, est déterminé par l'intensité de la pluie et les propriétés des sols. Les paramètres à retenir, sont détaillés ci dessous :

▪ **La croûte de battance** : Nous appellerons croûte de battance, la couche superficielle et imperméable qui se forme à la surface du sol. A l'origine de ce phénomène, nous retrouvons l'énergie cinétique de la pluie. En effet les gouttes qui arrivent sur le sol entraînent la désagrégation des mottes et agrégats par éclatement. Ceci est communément appelé « effet splash » (*LE BISSONNAIS et PAPY, 1997*). Il se forme au final des croûtes sédimentaires qui provoquent un lissage de la surface et ralentissent l'infiltration (1 mm par heure contre 30 à 60 mm par heure pour un sol poreux et meuble). Le phénomène résultant est la mise en suspension de composés organiques, de sédiments... qui peuvent être mobilisés par le ruissellement. (*LE BISSONNAIS, 1988*)

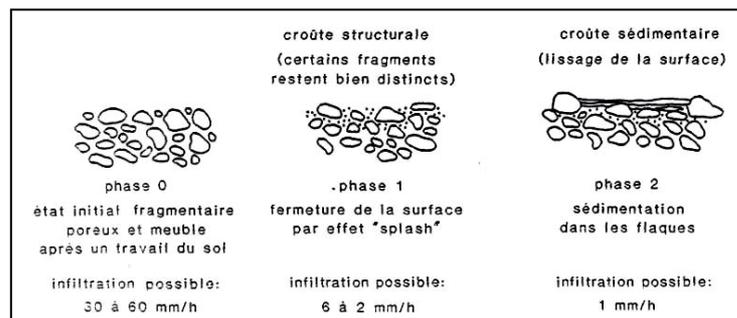
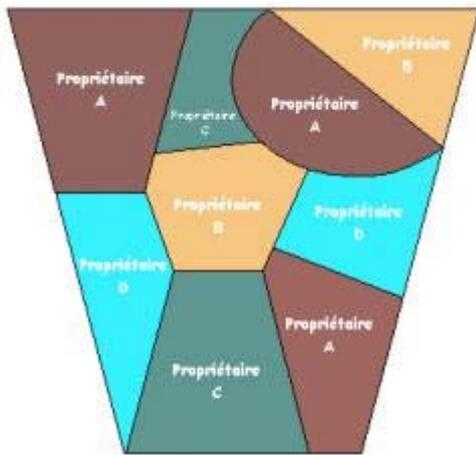


Figure 9 : schéma de formation d'une croûte de battance

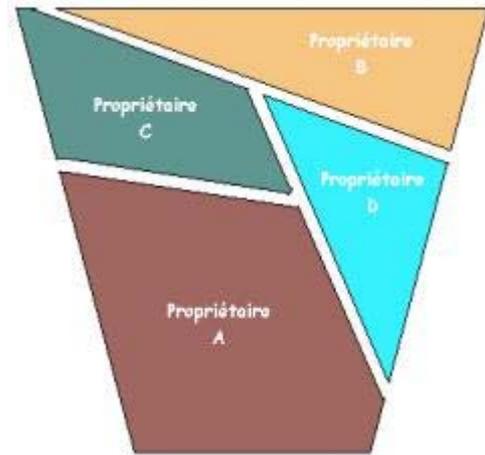
▪ **L'érodibilité** : il s'agit là de traduire la susceptibilité des matériaux à être arrachés. Elle intervient lorsque le ruissellement est déjà mis en place.

III- Comment s'est développé l'aléa érosion en France ?

L'agriculture a connu une évolution importante au cours du XX^e siècle. Cette modernisation a induit la disparition des éléments structurant le paysage. Le machinisme agricole a permis l'usage d'engins permettant une exploitation de plus en plus performante des terres agricoles. Cela a nécessité, des remaniements à l'échelle de la parcelle, pour faciliter le travail agricole qui s'appuie désormais sur des machines. On a donc assisté à la formation de parcelles de plus en plus grandes, uniformes. Cela a induit, la disparition des talus, haies, fossés et prairies permanentes. Or ces éléments permettaient une meilleure répartition de l'hydrogramme dans le temps et dans l'espace. Ceci assurait une diminution des ruissellements, et donc de l'érosion, mais aussi un plus grand dépôt des matières en suspension. (*LUDWIG, 2000*)



Parcellaire morcelé avant remembrement



Parcellaire regroupé après le remembrement

Figure10 : Schéma représentant le remembrement

Or, plus une parcelle est longue, et plus le ruissellement a le temps de se concentrer, car il ne rencontre aucun obstacle. Ainsi, au bout d'une parcelle de grande taille, le volume sera tel, qu'il sera quasi impossible de ré-infiltrer. Il est important de préciser que si un lot de parcelles est occupé par une même culture, on peut l'assimiler à une parcelle de très grande taille. Dès lors, un ruissellement important peut se mettre en place.

En outre, on assiste de plus en plus à une diminution des surfaces en herbe, à cause de la diminution de la part de l'élevage dans les OTEX. Or, une grande partie des cultures qui se sont développées sont des cultures de printemps. Ces dernières posent des problèmes, car les terres sont nues en hiver et les lits de semences se doivent d'être affinés. De plus, bon nombre de cultures qui se sont développées offrent à un terrain favorable à l'apparition de l'érosion.

Le fait est que l'utilisation accrue de machines agricoles de plus en plus nombreuses et lourdes n'a pas arrangée la situation. En effet, l'utilisation d'intrants, la récolte... ont nécessité des passages répétés dans les cultures. La conséquence directe est le tassement des sols et des apparitions de phénomènes de ruissellement de plus en plus précoces.

Enfin, on a assisté avec la diminution de l'élevage, à une diminution de la part de matière organique du sol. Or c'est un élément important de sa structure, qui lui permet de résister à la formation d'une croûte de battance. La matière organique permet donc d'éviter l'apparition de phénomènes d'érosion. La présence des animaux au champ, garantit l'incorporation de fumier aux terres arables. La diminution des polycultures élevages a entraîné une baisse de 5% à 1% de teneur en matière organique dans le sol. Il serait intéressant de comparer une carte de l'aléa érosion avec une carte de la teneur en matière organique des sols.

IV- L'érosion dans les différentes régions du bassin Seine Normandie

Le bassin Seine Normandie, est une région qui connaît de nombreux problèmes en rapport avec le ruissellement et l'érosion. Les principales zones reconnues à ce jour sont :

- **La Haute-Normandie** : le Nord de la région est fortement touché. En effet on y retrouve un sol battant, qui suffit (puisque les pentes sont faibles) à causer d'importants dégâts liés à l'érosion. Au Sud, de faibles pentes, une faible pluviométrie et des sols moins battants permettent de diminuer fortement l'aléa érosion.
- **Le Nord-Pas-de-Calais et la Picardie** : l'agriculture est y très développée, et pousse à laisser les sols nus pendant de longues périodes. Ainsi, de fortes précipitations, sur des sols sensibles à la battance, même avec de faibles pentes provoquent d'importants dégâts en terme d'érosion. (KING, 1991)
- **L'Île de France** : Au niveau des zones agricoles (de grandes cultures), elle est touchée surtout en hiver sur des sols battants.
- **La Champagne et le nord de la Bourgogne** : Au centre de la champagne, l'aléa est assez faible. Par contre dans la région de Sens on assiste à une érosion sur de fortes pentes. Dans les zones viticoles, l'érosion s'explique par une forte instabilité des sols. Pour le reste, les zones agricoles hétérogènes, associées aux zones forestières permettent de diminuer l'aléa érosion de façon importante. Une seule exception doit être citée il s'agit des sapins de Noël. En effet d'un point de vue érosion et ruissellement ils se comportent comme des vignes, on y voit donc apparaître d'importants phénomènes d'érosion linéaire.

V- Les grands types de processus érosifs

Les deux grands processus d'érosion des sols sont l'érosion en nappe et l'érosion linéaire. Le tableau ci-dessous rappelle les causes et les moyens de lutte contre ces processus érosifs. L'érosion en nappe s'apparente à un processus d'érosion diffuse, et s'explique par le fait que les gouttes de pluie s'appliquent à toute une surface. Le transport des particules arrachées se fait alors par ruissellement d'une lame d'eau qui décape progressivement une grande surface de sol. C'est le stade initial de la dégradation des sols par érosion.

Les processus	Les causes	Les facteurs de résistance du milieu	Les conséquences
Érosion en nappe: nappe de sable, pellicule de battance ou de sédimentation...	Battance des gouttes de pluie	le couvert végétal, la pente, le sol, les techniques et structures antiérosives	Sélectivité: Érosion: + +, Dépôt: + +
Érosion linéaire sous forme de griffes, rigoles, ravines	L'énergie du ruissellement dépend du volume du ruissellement et de sa vitesse au carré $\frac{1}{2}MV^2 = \frac{1}{2} MGH$	La vitesse du ruissellement est fonction de la pente et de la rugosité, le volume ruisselé est fonction de la surface du bassin versant et de la capacité d'infiltration, résistance du profil du sol et des racines	Sélectivité Érosion: 0 Dépôt: + +

Tableau2 : les grands types de processus érosifs



Figure11 : observation de rigoles

Les formes et les symptômes de l'érosion en nappe :

L'érosion en nappe est un processus qui reste diffus. Processus peu concentré, cette érosion est peu visible d'une année à l'autre (une érosion de 15 à 30 t/ha/an correspond à une perte de hauteur de 1 à 2 mm). Elle peut ainsi entraîner la disparition de la majeure partie de l'horizon humifère en quelques dizaines d'années. Le signe le plus connu de l'érosion en nappe est donc la présence de plages de sol de couleurs claires aux endroits les plus décapés, les plus agressés des champs (haut de collines, et rupture de pentes).

En outre, un travail du sol profond, combiné à une érosion diffuse qui entraîne les particules les plus fines, provoque une remontée des cailloux.

Le tableau ci-dessous décrit en fonction de l'état de surface du sol, la vitesse d'infiltration qui lui est propre, son épaisseur ainsi que les types de sol qui le constituent.

Sol motteux	Croûte de battance structurale ou d'érosion	Croûte de sédimentation
Infiltration finale > 100 mm/h	5 à 15 mm/h	1-5 mm/heure
Épaisseur	1 à 2 mm	5-30 mm
Succession quelconque des sols.	Sables déliés sur pellicule Argilo limoneuse	Pellicule Argiles + Limon + Matière Organique sur sables grossiers déliés.

Tableau3 : Formes et symptômes de l'érosion en nappe

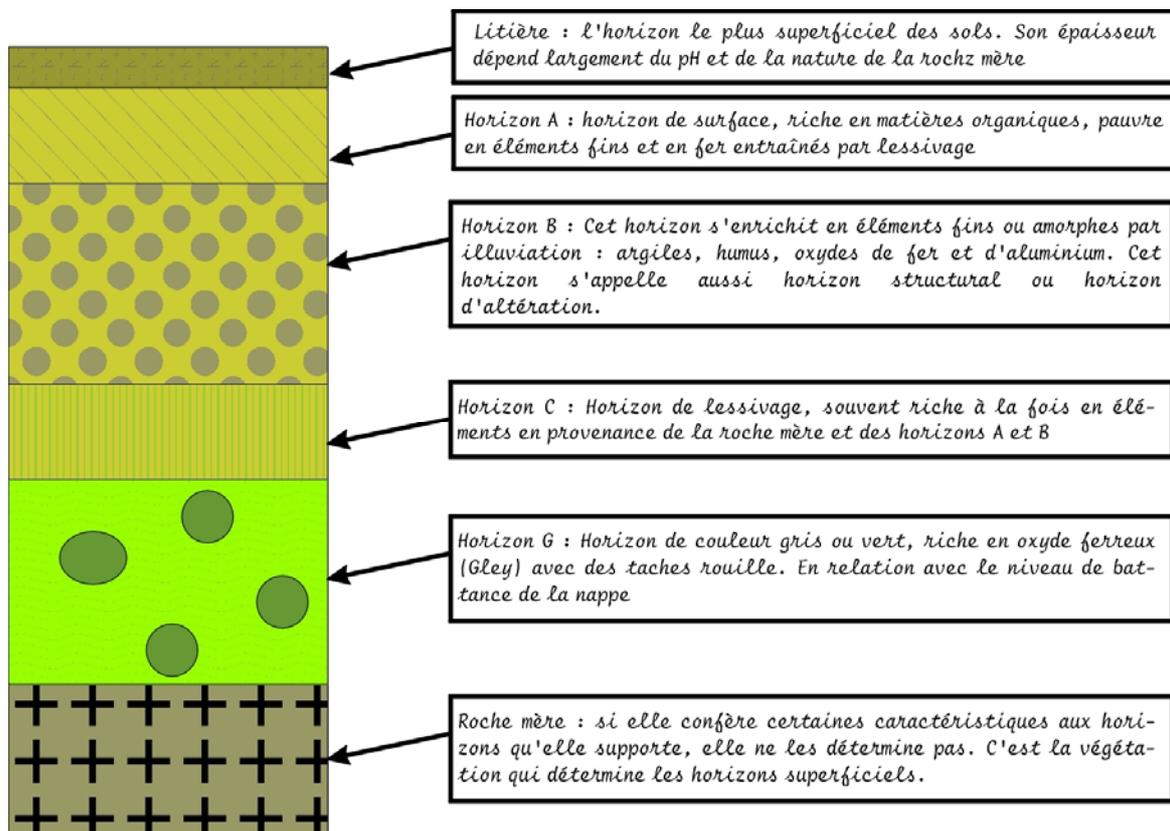


Figure13 : Schéma représentant la structure des sols d'après w.univ-ubs.fr/ecologie/pedologie.html

Les conséquences de l'érosion en nappe sont:

- **Le nivellement de la surface du sol** par dégradation des mottes et remplissage des creux. Il s'ensuit des croûtes diverses, lisses et blanchies.
- **La squelettisation des horizons superficiels** par perte sélective des matières organiques et des argiles, laissant en place une couche de sable et de gravier, plus claire que l'horizon humifère sous-jacent.
- **Le décapage de l'horizon humifère** laissant des plages de couleur claire: l'horizon minéral sous-jacent apparaît à l'air libre.

La formation de la croûte de battance est liée à l'énergie potentielle des gouttes de pluie sur les sols dénudés (Ellison, 1944) et l'arrachement des particules de terre vient quant à lui de l'énergie cinétique de la lame d'eau. La présence de cailloux, de matière organique, d'argile, une forte perméabilité, sont autant d'éléments qui peuvent rendre un sol plus ou moins résistant à l'érosion en nappe. Cette dernière s'étalant à la surface du sol gardera une faible vitesse même sur des pentes de 5 à 10 % à cause de la rugosité du sol (mottes, herbes, feuilles, racines, cailloux, *etc...*) qui l'empêchent de dépasser la vitesse limite de 25 cm/seconde. Au-delà de 25 cm/seconde, le ruissellement peut non seulement transporter des sédiments fins, mais aussi attaquer le sol et creuser des rigoles hiérarchisées où la vitesse augmente rapidement. On passe alors à l'érosion linéaire (griffes, rigoles et ravines).

Ce type d'érosion se caractérise par le fait que le phénomène devient localisé. Il n'y a plus écoulement diffus, mais des flaques d'eau qui se regroupent et qui s'écoulent selon une ligne de plus grande pente. Cet écoulement linéaire conduit à la formation de ravines, de griffes ou rigoles. Ces écoulements peuvent atteindre des vitesses de l'ordre de 25 cm/ seconde. Dès lors, il n'y a plus d'érosion sélective et des particules plus grosses peuvent être transportées c'est le cas notamment des graviers, cailloux...

Les facteurs qui jouent un rôle sur les volumes écoulés sont :

- la hauteur des pluies,
- l'humidité du sol,
- l'état de surface des sols,
- l'inclinaison de la pente,
- les pratiques culturales,
- la mésauna.

VI- Le texte de loi

La création des plans de préventions des risques (PPR) s'est faite à travers la loi n°95-101 du 2 février 1995, dite loi BARNIER. Le texte de loi sur la prévention des risques doit permettre de donner aux pouvoirs publics des instruments de prévention efficaces. [Annexe3]

Si la **loi n° 95-101 du 2 février 1995**, relative au renforcement de la protection de l'environnement, dite loi " BARNIER ", a permis de grandes avancées concernant la construction et l'aménagement des **terrains soumis à risques**, avec en particulier la création des **plans de prévention des risques (PPR)**. Des progrès devaient encore être accomplis, dans un triple objectif : travailler sur les terrains qui engendrent le risque ou participent à son aggravation, développer une conscience et une culture du risque dans la population, et donner aux pouvoirs publics des instruments de prévention efficaces.

A cet ensemble de mesures existantes, la loi n° 2003-699 du 30 juillet 2003 [Annexe4] est venue apporter

trois éléments nouveaux :

- De nouvelles servitudes : En matière d'inondations, la loi met en place des servitudes de «mobilité du cours d'eau» et de « stockage temporaire des crues ». Elle prévoit également la définition, en concertation avec la profession agricole, d'un code de bonnes pratiques afin de lutter contre l'érosion des sols.
- Financement pour des travaux de prévention : Afin de réduire la vulnérabilité des personnes et des biens situés dans les zones urbaines la loi permet d'utiliser le fonds de prévention des risques naturels majeurs (fonds Barnier) pour contribuer au financement des travaux de prévention prescrits dans un plan de prévention des risques naturels, ou bien d'aider à la délocalisation de bâtiments à usage d'habitation voire de petites entreprises, des commerces ou des artisans, sinistrés à plus de 50% de la valeur du bien.
- Connaissances des risques : Des dispositions permettant de développer la conscience du risque auprès des populations ont été prises. Ainsi, la pose de repères de crues, ou encore la mention du risque lors d'une transaction est obligatoire. Enfin, des commissions départementales des risques naturels majeurs ont été mises en place.

Extrait de la loi n°2003-699

L'article 21 de cette loi insère dans le code rural un nouveau dispositif de mesures incitatives pouvant être rendues obligatoires, sous forme de programmes d'actions concertés destinés à limiter ou à interdire les pratiques agricoles inappropriées dans des zones sensibles à l'érosion.

Certaines pratiques agricoles peuvent en effet favoriser l'érosion des sols et accélérer l'écoulement des eaux de ruissellement (sillons dans le sens de la pente, arrachage de haies, retournement des prairies, etc.). Ce risque d'érosion est particulièrement préoccupant dans certaines régions (Normandie, Bretagne, Bourgogne, Pays de Loire...).

Afin de faciliter l'implantation de haies dans ces zones, il est en outre proposé de déroger aux règles de distances de plantation fixées par l'article 671 du code civil, qui sont de 2 mètres en l'absence d'usages constants et reconnus codifiés par la chambre d'agriculture après avis du conseil général. Ces dérogations ne pourront être prises qu'après avis de la chambre d'agriculture et du conseil général.

L'érosion est un phénomène complexe, même si aujourd'hui l'état des connaissances est avancé. La façon dont il peut apparaître, ses conséquences ont fait l'objet de nombreuses études, mais la problématique reste difficile à appréhender face aux difficultés du terrain (grande surface à traiter, diversité des cas...). De plus, les problèmes peuvent être causés par les particules en suspension mais aussi par les polluants qui peuvent être dilués dans la lame d'eau. La complexité de ce phénomène est réelle, car il existe une interaction dynamique entre l'eau, le milieu environnant et les particules en suspension. La modification des pratiques culturales, le remembrement, l'intensification des exploitations agricoles... sont vraisemblablement la cause du développement de l'érosion hydrique, accentué par les modifications des pratiques culturales.

Troisième partie : Cahier des charges de l'étude

Cette partie permet de faire le point sur l'organisation de l'étude dans le temps. Elle permet de mieux prendre conscience de l'importance de chacune des étapes. De plus l'analyse critique offre un regard plus large sur l'ensemble du projet et permet de le replacer dans un contexte plus global.

I- Objectif

Il s'agit, dans un premier temps, de comprendre comment se met en place le transfert de matières en suspension des bassins versants vers les cours d'eau. Une fois le déterminisme agro climatique et géomorphologique mis en évidence, un modèle devra être mis en place pour pouvoir simuler les interactions existantes entre l'ensemble des facteurs ainsi choisis. Essentielle dans la perspective de la maîtrise du risque, la cartographie de l'aléa apparaît comme un outil de connaissance intéressant, pour établir les bases d'une négociation entre les différents partenaires et pour protéger la ressource. C'est aussi un outil efficace, pour visualiser des informations et les diffuser auprès de l'ensemble des acteurs. En cela, la carte constitue l'objectif concret et final de cette étude.

Pour y parvenir le recueil des données, leur mise en forme et la modélisation constitueront la première étape. Il existe à ce jour de nombreuses études, accompagnées de cartes réalisées à différentes échelles (européenne, nationale, cantonale, départementale et bassin versant). Toutefois, ces études, quand elles font intervenir des variables en entrées précises, restent ponctuelles (échelle du bassin versant), ou sont réalisées à petites échelles et les données en entrée restent grossières (notamment au niveau de la topographie). Toutefois, nous devons nous adapter aux données sources auxquelles nous pourrions avoir accès. Nous précisons ci après de quelle manière peut être abordé le problème à partir des données disponibles.

En terme de retombée, il s'agit pour l'agence de l'eau, dans le cadre de la préparation du IX^e programme de déterminer les zones à fort potentiel en matière d'érosion afin de pouvoir cibler au mieux les actions à mettre en place en dehors des Zones d'Actions Renforcées (ZAR). En effet, il est impossible en dehors de ces ZAR de financer des projets d'aménagements. Au niveau de ces zones, qui devront être bien cernées, pourront être mises en places des actions préventives et curatives. Au travers de cette problématique pourront être posées d'autres questions :

- Où faut-il mettre des ZAR ?
- Faut-il les remplacer par des zones plus réduites, mais mieux cernées ?...

Dans la continuité de la cartographie, il s'agira alors de savoir, en fonction des saisons et du type de cultures que l'on retrouve, quelles sont les caractéristiques de l'aléa rencontré. C'est à dire quelles sont les causes du ruissellement observé, et de l'érosion qui en découle. Éventuellement à partir de là, nous pourrions déterminer des moyens de lutte ou de prévention contre l'érosion. Enfin, l'analyse des cartes se devra d'être claire sur les enjeux. Il faudra savoir où intervenir en cas d'aléa important, c'est à dire là où il y aura un impact sur l'eau, et déterminer cet impact (enjeux sur l'eau potable, zone de fraie des poissons...).

II- Planification du travail et méthode utilisée

Au cours de l'étude bibliographique et des premières rencontres avec des personnes ressources, plusieurs grands axes de travail sont apparus. Dans un premier temps, le travail de synthèse bibliographique avait pour objectif de renseigner sur les différents types d'études qui ont été réalisées en France.

À ce stade, une liste des données à recueillir a été arrêtée. Du fait de la complexité des données, et de leur hétérogénéité, une mise en forme a été nécessaire.

Dès lors, nous avons pu commencer la modélisation, c'est à dire l'étude de la meilleure combinaison possible des paramètres retenus pour rendre compte de l'aléa érosion.

Dans la suite logique, les cartes précisant les zones sensibles au ruissellement et à l'érosion ont été produites, puis analysées. Le schéma ci dessous rend compte de l'organisation de l'étude dans le temps. On retrouve dans la partie inférieure les 6 étapes de l'étude, auxquelles correspondent dans la partie supérieure les périodes prévues durant lesquelles elles doivent se dérouler.

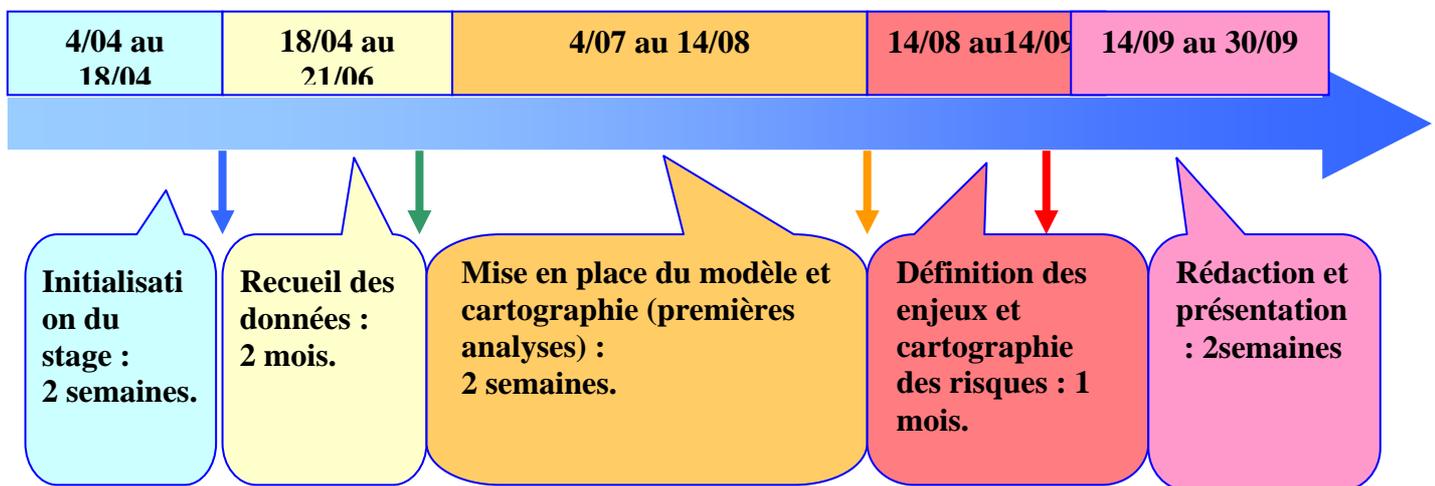


Figure 12: planning prévisionnel de l'étude.

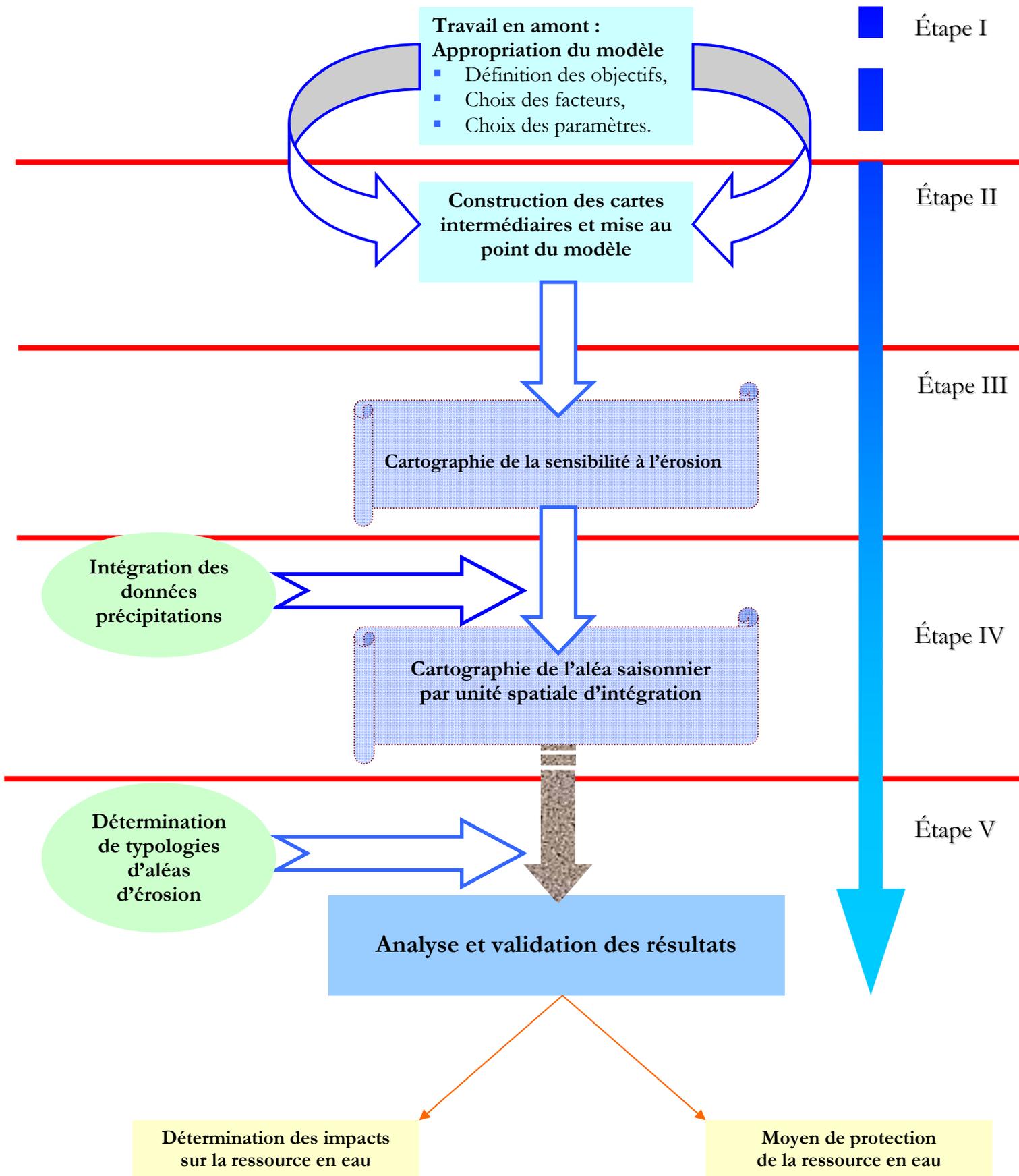


Figure 13 : Schéma de méthodologie.

III- Analyse critique du projet :

Cette étude s'inscrit parfaitement dans le cadre des priorités du bassin Seine-Normandie. A ce titre, elle revêt une importance certaine en rapport aux résultats attendus. En effet, que ce soit dans le cadre de la DCE, des SDAGE, du 9^o programme de l'agence de l'eau ou encore dans le cadre de la coordination de ce dernier avec le règlement de développement rural, cette étude doit apporter des éléments de réflexion. Pour toutes ces raisons le projet de géo référencement des zones sensibles à l'aléa érosion est très intéressant et motivant.

Toutefois, de nombreuses études ont été réalisées au préalable, et certains partenaires en interne (direction de secteur) et en externe n'étaient pas convaincus par la nécessité d'une nouvelle cartographie. Ainsi, même si il est clair que cette dernière soit justifiée, il est regrettable qu'un travail d'information n'ait pu être réalisé en amont du stage.

De plus, pour apporter une importante plus value aux études réalisées il aurait fallu développer le modèle utilisé (en partenariat étroit avec un organisme de recherche) ou encore développer la précision de l'ensemble des paramètres. Ceci aurait clairement réduit les objectifs du stage à la seule cartographie de l'aléa érosion, mais aurait permis de disposer d'une bien meilleure précision. Il n'en reste pas moins que la carte obtenue est intéressante, et que cette approche complète de la problématique [aléa - risques- moyens de lutte] est très enrichissante pour tous les partis. Enfin, pour une valorisation de ce travail, il faut garder en tête qu'il constitue une première étape à approfondir et développer au cours d'autres études.

La principale difficulté est de déterminer à partir d'un modèle des zones d'action prioritaire. En effet l'agence détermine en 2005 les zones d'intervention du 9^{ème} programme en coordination avec les MAE. Ainsi des territoires prioritaires vont être définis, l'orientation principale étant d'avoir une liste de masses d'eau où intervenir et pas une liste de critères de déclenchement d'intervention. Plutôt que de travailler sur les aléas érosion et ruissellement, il faut travailler sur les enjeux, d'où l'importance de cette carte. Or très peu de données existent pour la détermination des enjeux. De plus cette étape requiert une précision que la carte réalisée ne peut pas forcément assurer. Or cette étape est forcément soumise à polémique puisqu'elle détermine les secteurs qui seront aidés en priorité. Il est donc à prévoir des réactions des acteurs locaux qui connaissent des problèmes liés à l'érosion et dont les secteurs ne seront pas reconnus comme prioritaires.

Quatrième partie : Construction du modèle

Le modèle qui a été utilisé pour cette cartographie s'inspire de l'étude faite par Le BISSONNAIS, THORETTE, BARDET et DAROUSSIN en 2002. L'IFEN et l'INRA ont ainsi réalisé une cartographie de l'aléa érosion sur tout le territoire. Cette étude se propose de reprendre la même méthodologie, en y apportant des données en entrée plus précises quand cela est possible. Ce modèle si il reste perfectible a été validé et offre l'avantage de travailler sur des surfaces importantes, comme celle du bassin Seine Normandie.

I- Le choix du modèle

La première modélisation du phénomène d'érosion par ruissellement : Universal Soil Loss Equation : USLE a été mise en place par WISHMEIER et SMITH en 1978. Cette équation définit entre autre, les principaux facteurs intervenant dans les phénomènes d'érosion. Cette approche a été améliorée grâce à une révision, qui a donné lieu à la mise en place du modèle RUSLE [Revised USLE] (RENARD, 1997) (MORSCHER, 2004) (MACARY, 2003).

Ce modèle s'appuie sur des concepts de production et de transferts de sédiments. Il a été calibré et validé aux États-unis à partir de centaines de parcelles expérimentales. En outre, il nécessite de très nombreuses données en entrée, qui ne sont pas disponibles pour cette étude. Ainsi, pour utiliser ce modèle, il faudrait procéder à de très nombreuses approximations qui altèreraient la qualité de la cartographie. Des tests ayant été réalisés à l'échelle nationale (donc à petite échelle), ont montré que cette méthode ne mettait en évidence que les zones montagneuses où se produit une forte érosion. De plus, il n'est pas possible, avec ce modèle, de tenir compte de l'évolution de la dégradation du sol en fonction des précipitations. Pour toutes ces raisons, nous n'utiliserons pas ce modèle dans cette étude.

Rappelons ici que nous avons comme objectif, la production d'une carte qualitative permettant d'appréhender l'aléa érosion sur l'ensemble du bassin Seine Normandie. C'est pour cela que nous avons opté pour un modèle simple, s'appuyant sur des règles qualitatives. En effet, il n'est pas question d'estimer ici une production de sédiments en tonnes par hectare et par an, mais d'évaluer la sensibilité potentielle d'une zone au ruissellement et à l'érosion.

Ce que nous attendons du modèle c'est qu'il puisse faire la synthèse de plusieurs paramètres à différentes résolutions spatiales. En outre, il doit permettre de présenter les cartes à l'échelle du bassin, des petites régions agricoles et des communes. Enfin, une remise à jour (notamment au niveau des données Corinne Land Cover) doit être possible. Nous nous sommes donc inspirés du travail réalisé par LE BISSONNAIS *et al* en 2002 dans le cadre de l'étude de l'IFEN. (LE BISSONNAIS, 2002)

II- Principe du modèle

Concrètement, il s'agit de combiner tous les paramètres choisis et préalablement pondérés, afin de déterminer la sensibilité à l'érosion de chaque pixel élémentaire de la carte.

Les critères climatiques (caractéristiques des pluies et saison de déclenchement des phénomènes d'érosion), les critères géomorphologiques (pentes, altitude), les critères agronomiques (types de cultures, période des récoltes, pratiques culturales) et les critères géographiques (paysages agricoles, occupation du sol, régions touchées) déterminent l'apparition d'un processus érosif, ainsi que son intensité. Ensuite il s'agit de définir l'ensemble de ces facteurs choisissant des paramètres. (MOQUET, 2004)

Les déterminants de l'érosion que nous retiendrons donc pour cette étude seront :

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

	Érosion en région de grandes cultures		Érosion de vignoble et de vergers
	automne/hiver	printemps/été	
Occupation des sols	Terrains nus ou peu couverts	Terrains nus à peu couverts	Voir en fonction de la gestion des inters rangs
Pluviométrie	Faible à importante	Forte intensité	
Pentes	inférieure à 5%		Forte si battance moyenne et faible si battance forte
État de surface du sol	Imperméabilisation par une croûte de battance	Affinée par le lit de semence	Sol tassé (vigne désherbée) ou ameublie (travail)
Ordre d'importance des facteurs déclenchant	Facteur déclenchant d'ordre 1	Facteur déclenchant d'ordre 2	Facteur déclenchant d'ordre 3

Tableau 4 : Ordre d'importance des facteurs déclenchant un phénomène d'érosion

III- Étapes de la construction du modèle

La première étape doit déterminer le potentiel à l'érosion qu'un sol présente. Concrètement, on doit disposer de 4 jeux de données (occupation des sols, sensibilité à la battance, érodibilité et pente) dont les couches d'informations seront combinées entre elles pour déterminer la sensibilité potentielle des sols.

À partir de là, on établit qu'un sol est plus ou moins potentiellement sujet à l'érosion. Toutefois, un sol très sensible mais situé dans une zone à faible pluviométrie présentera un aléa érosion peu important. Au contraire, un sol qui présente une faible sensibilité à l'érosion mais qui est situé dans une zone à forte pluviométrie, présentera un risque accru de s'éroder.

Donc, la deuxième étape consiste à combiner la sensibilité potentielle des sols à l'érosion et de combiner cette dernière à l'érosivité de la pluie afin de définir l'aléa érosion (DUBREUIL, 2003).

III-1. L'arborescence

La lecture de l'arbre est la suivante, les nœuds intermédiaires sont des questions sur les attributs et les feuilles sont des classes. L'ordre dans lequel les paramètres sont rentrés dans l'arborescence est primordial. Pour choisir la première question à poser, il faut trouver l'attribut le plus informatif. Or, la bibliographie nous montre que l'occupation du sol est souvent le premier facteur déclenchant d'un phénomène d'érosion. Viennent respectivement ensuite, l'état de surface du sol (battance ou non) puis la pente et l'érodibilité [Annexe11].

Un arbre de décision définit une fonction de classification dans l'espace d'une multitude d'entrées. Chacune de ces entrées doit en outre être subdivisée en un nombre pertinent de classes. Pour chaque type d'occupation du sol (6 classes) on associe un coefficient de sensibilité à la battance de 0 à 5. A partir de chaque coefficient partent ensuite des « branches » vers des classes de pentes déterminées. Le quatrième paramètre dont nous tiendrons compte sera alors l'érodibilité. La sensibilité à l'érosion est ensuite combinée avec les données sur le climat pour déterminer l'aléa érosion.

Ce modèle est régi par quelques grands principes :

- la sensibilité à la battance ne concerne pas les prairies et les forêts
- plus la sensibilité à la battance est forte et plus l'effet des pentes est important
- l'érodibilité n'intervient que lorsque les pentes sont très fortes.

III-2. Le résultat

Une fois que l'on a déterminé la sensibilité des sols à l'érosion, on intègre alors les précipitations dans le modèle. La sensibilité à l'érosion représente en fait une nouvelle donnée d'entrée (qui ne tient pas compte de la pluviométrie). On crée alors deux nouvelles classes de part et d'autre de la classe médiane. Les deux plus petites diminuent le risque quand les deux plus grandes l'augmentent. Les précipitations sont des données qui seront à traiter par saison, aussi, produirons-nous donc 4 cartes de l'aléa érosion, qui correspondront à 4 saisons.

IV- Le choix et la combinaison des paramètres

IV-1. L'occupation des sols

Les données que nous avons utilisées pour cette étude proviennent de la base Corinne Land Cover. Les informations qui y figurent, proviennent de différentes sources : images satellitaires, cartes topographiques, photos aériennes... Par rapport aux précédentes études, nous pouvons disposer à ce jour de la base de données qui date de 2000. Un des avantages du modèle utilisé, est qu'il permet une réactualisation en fonction des données disponibles.

Classes sensibles au ruissellement		Classes résistantes au ruissellement	
Type	Explication	Type	Explication
Terres arables	Terres nues sur de longues périodes	Prairie	L'herbe en surface protège et favorise l'infiltration
Les cultures permanentes	Désherbement important des inter rangs	Zones hétérogènes	Diversité des paysages qui limitent le ruissellement
Zones naturelles dégradées	Espaces en mutation souvent sans végétation	Forêts	Peu sensibles à l'érosion, sauf sur de fortes pentes

Tableau 5 : Présentation des classes d'occupation des sols retenues pour cette étude.

Le tableau ci-dessus rappelle les 6 classes concernées dans le cadre de cette étude. C'est au niveau de ces classes que pourra apparaître l'érosion. Nous retiendrons aussi 3 autres classes : les territoires artificialisés, les surfaces ouvertes et les masses d'eau. On peut d'ores et déjà distinguer deux grands types d'occupation des sols en fonction de leur sensibilité au ruissellement. Ce tableau met ainsi en évidence l'importance de la présence d'une couverture végétale pour protéger les sols. En outre, il précise que les activités humaines, par les aménagements qu'elles impliquent favorisent l'apparition de phénomènes d'érosion.

IV-2. Les pentes

Pour le relief, le modèle numérique de terrain (MNT) du bassin Seine Normandie à la maille de 100m a été choisi pour apporter un degré de précision supplémentaire à l'étude réalisée en 2002 par l'IFEN. Nous disposons pour cette étude d'un Modèle Numérique d'Élévation (MNE) qui à partir de données radars, indique l'altitude la plus élevée du point mesuré. Ces données, d'une résolution de 25 mètres pourraient être intéressantes mais elles présentent plusieurs problèmes. Tout d'abord, le volume de données à traiter serait très important et ralentirait les calculs de façon notable. En outre, le fait de prendre en compte l'altitude la plus élevée du point mesuré introduirait un biais non négligeable. En effet en zone forestière ou d'importante densité d'habitation, on ne mesurerait plus l'altitude du sol, mais celles des couverts végétaux ou des pavillons. Enfin, tous les autres facteurs ne sont pas disponibles à une échelle très grande. Il n'est donc pas opportun de descendre à un tel degré de précision. En ce qui concerne l'utilisation d'un MNT à 50m, l'agence de l'eau n'en dispose pas et aucun de ses partenaires non plus. De plus, étant donné son coût d'achat (40 000 Euros), il s'est avéré impossible de l'acquérir.

IV-3. Les sols

La prise en compte du sol comme facteur clé permettant de construire la carte de l'aléa érosion, implique de connaître la base pédologique des sols étudiés. En effet, ces derniers interviennent à deux niveaux dans le phénomène d'érosion. Tout d'abord, il convient de s'intéresser à la battance. Sous l'action de la pluie et dans un contexte donné, il se peut qu'une couche imperméable se forme et que la structure superficielle du sol se dégrade, favorisant dès lors le ruissellement. Le ruissellement qui apparaît alors, provoque une érosion diffuse, qui en se concentrant à l'aval provoque la formation de ravines. Dans les régions de grandes cultures la battance est un facteur important (*DAROUSSIN*, 1998).

Ensuite, il existe un deuxième critère qui permet de caractériser les sols, il s'agit de l'érodibilité des matériaux. Ce dernier caractérise la capacité des matériaux à être mobilisés par le ruissellement. Il s'agit là d'un indicateur de la stabilité des matériaux, qui est primordial dans les zones où l'on retrouve de fortes pentes (plus de 30%) (*LE BISSONNAIS*, 2002).

Sur le bassin SN, les levés et informatisations sont terminées sur les départements de la région Île-de-France, de l'Oise et de la Côte d'or, dans l'Aisne, le Loiret et l'Yonne. Les cartes de sols, se présentent sous la forme de polygones qui correspondent à des unités cartographique « soil mapping units » ou SMU. Ces SMU, peuvent regrouper un à plusieurs STU « soil typological units » qui correspondent à des unités typologiques de sol. Ce sont ces dernières, qui renseignent de manière exhaustive chaque type de sol présent sur la carte. De nombreux paramètres peuvent être choisis en entrée. Ces choix s'effectuent en fonction des données qui nous intéressent en sortie. Cette étude implique la connaissance de 2 facteurs : la sensibilité à la battance et l'érodibilité.

La précédente étude de Yves LE BISSONNAIS, s'est appuyée sur une carte pédologique au millionième. L'intérêt était donc ici de pouvoir disposer d'une carte de meilleure résolution. Or, il n'existe pas de carte de meilleure résolution qui couvre de manière exhaustive le BSN. Une solution envisageable a été évoquée avec Olivier CERDAN [BRGM], Dominique ARROUAYS [INRA], Véronique ANTONI [INRA] de réorienter le sujet. Cette orientation aurait consisté à produire une première carte de l'aléa érosion en utilisant la couche pédologique au millionième, et une deuxième carte, qui concernerait la région Île de France serait réalisée avec une couche pédologique au 1/250 000^e. Or, il est apparu plus intéressant à l'Agence de l'Eau Seine-Normandie d'exploiter la première carte produite et de définir ainsi les risques par rapport aux enjeux. Les différents zooms à des résolutions différentes pourront être faits par la suite au cours d'un autre stage, ou d'autres projets (*DAROUSSIN*, 1996)

IV-4. Les données climatiques

Le climat est abordé uniquement sous l'aspect de la pluie puisqu'il s'agit du principal facteur de l'érosion hydrique. Ce facteur se définit comme la combinaison d'hauteurs de pluie moyennes en millimètre et des intensités.

Météo France possède en moyenne une station météorologique par département et de 35 à 45 postes de mesures par département. Il existe depuis environ 30 ans des mesures de hauteurs de pluies journalières, les données horaires quant à elles, n'existent que depuis environ 10 ans et seulement sur quelques sites. Météo France peut fournir des données très fiables (hauteurs de pluies moyennes) et disponibles au pas de temps journalier. Or, l'agence dispose à la Direction des Études, de la Prospective sur l'Environnement [DEPE] de données de hauteurs de pluies trimestrielles moyennées sur 20 ans. Le pas d'espace est lui de 5km sur 5km.

En ce qui concerne les intensités, l'objectif est d'avoir sur l'ensemble du secteur, des fréquences moyennes par saison des hauteurs de pluies supérieures à un seuil donné (en mm par heure ou par jour). Il faut arriver à trouver une valeur satisfaisante pour assurer une bonne discrimination, en mettant en évidence de fortes intensités de pluies. Pour ce type de données brutes, le devis de météo France s'élève à environ 12 000 €. Or, la DEPEE disposait de données de pluies journalières sur 6 ans et sur l'ensemble du bassin Seine-Normandie. Nous avons donc opté pour cette solution.

Toute l'étude repose sur le choix pertinent du modèle et de la qualité des paramètres d'entrée qu'il requiert. Ici nous avons choisi principalement de s'appuyer sur l'occupation du sol et la pédologie qui restent les critères déterminants dans l'apparition de phénomènes d'érosion. Les pentes peuvent avoir un effet important dans le déclenchement de phénomènes érosifs, mais elles restent généralement faibles sur l'ensemble du bassin. L'ensemble de ces paramètres, pour être bien exploité, doit être bien pondéré et correctement pris en compte pour refléter la réalité, c'est le rôle de l'arbre de décision. La collecte de ces données est par la suite une étape clé.

Cinquième partie : Collecte et traitement des données

Sur la base du modèle mis en place par l'INRA cette étude nécessite cinq paramètres en entrée. La difficulté de cette étape réside dans la diversité des données à recueillir qui peuvent aussi bien concerner la météo, que la pédologie ou encore la topographie. Ces données doivent être assez précises pour justifier l'intérêt de cette étude. Une fois récupérées, elles doivent être mises en forme pour être intégrée dans le modèle.

I- Les données Corinne Land Cover

La carte Corinne Land Cover actualisée pour l'an 2000 était disponible à l'agence de l'eau Seine Normandie. Cette dernière couvre l'ensemble du bassin. Pour pouvoir utiliser ces données dans le modèle, nous avons dû procéder à un reclassement. En effet, nous avons regroupé les 44 classes existantes dans la base de données Corinne Land Cover en 9 groupes de classes d'occupation du sol qui présentent des comportements particuliers vis à vis de l'érosion. La carte que nous avons obtenue, est présentée en annexe. [Annexe 13.1]

II- Le Modèle Numérique de Terrain

La pente moyenne de chaque maille sera calculée à partir de la différence d'altitude la plus grande entre cette maille et ses 8 voisines. Les pentes ainsi obtenues, seront regroupées en classes déterminées à partir de la littérature (DUBREUIL et al, LE BISSONNAIS et al, 1998) et des connaissances d'experts : Ces pentes pourront être regroupées en un nombre plus petit de classes. En effet, selon le type de zones dans lesquels nous nous trouverons, nous n'utiliserons pas les mêmes classes. Ainsi, dans les zones de grandes cultures, nous ne retiendrons que les trois premières classes quand dans les zones de montagnes nous n'utiliserons que les deux dernières. [Annexe 13.4]

Ce MNT au pas de 100 m¹ nous servira également à définir le pixel de base de la rasterisation de toutes les couches d'information. Il représente donc le pixel élémentaire de la cartographie. La carte des sols sera donc subdivisée en mailles de 100 m¹. Pour l'occupation des sols, dans certains cas de figure, nous perdrons en précision. En effet si un pixel à 100 m¹ recoupe deux voire trois types d'occupation des sols différents, il faudra le classer dans l'une ou dans l'autre classe (en fonction du pourcentage représentatif).

III- La battance et l'érodibilité

Pour estimer l'intensité des deux phénomènes qui nous intéressent, battance et érodibilité, on a recourt aux règles de pédo-transferts. Définies par Bouma et Van Lanen en 1986, ces règles permettent à partir d'une information qualitative (texture du sol, matériau parental et nom du sol) de définir la battance et l'érodibilité. Ces règles résultent de la combinaison d'un paramètre physico-chimique avec des paramètres texturaux propres à chaque règle (battance et érodibilité). [Annexe 13.2 et 13.3]

- Les textures grossières, très grossières ou très fines sont classées en faible battance, les textures fines et moyennes fines sont classées en sensibilité forte ou moyenne (selon le type de matériau parental).
- Les roches massives présentent une faible érodibilité et les roches friables (sables, molasse, sols à textures grossières) présente une forte érodibilité.

La battance est le facteur qui explique le mieux les phénomènes d'érosion dans les régions de grandes cultures. L'érodibilité est un phénomène qui intervient dans les zones montagneuses, et qui concerne les pentes fortes (supérieures à 30%). En dessous de cette limite, la battance devient le phénomène prédominant, et l'on ne tient plus compte de ce facteur (LE BISSONNAIS et al, 2002).

Les règles de pédo-transfert

Il n'existe pas à ce jour de données exhaustives et précises (échelle inférieure au millionième) sur l'ensemble du bassin Seine Normandie. Nous avons dans un premier temps recensé l'ensemble des données existantes sur tout le bassin.

Il s'est avéré que outre le fait de ne pas avoir accès à une information précise partout, les données apportant une précision ne sont pas toutes disponibles à la même échelle. Il va donc falloir adapter et homogénéiser les règles de pédo-transfert en fonction des données disponibles. Une fois tout cela établi, nous pourrons alors appliquer ces règles à l'ensemble du bassin.

Nous utiliserons comme type de données :

- Le nom du sol
- La texture du sol dominante et secondaire [notées Text1 et Text2 : elle se déclinera en 5 classes qui sont : grossière, moyenne, moyenne fine, fine et très fine. Cette donnée existe pour la couche superficielle de sol.
- Le matériau parental.

Pour la première partie de cette étude (cartographie au 1/1 000 000^e de l'aléa érosion sur l'ensemble du bassin Seine Normandie) nous avons pu sous convention avec l'INRA d'Orléans récupérer les cartes de battance et d'érodibilité du bassin Seine Normandie. Il s'agit des cartes utilisées par Yves LE BISSONNAIS pour la cartographie de l'aléa érosion pour la France entière.

IV- Les données météorologiques

IV-1. Les hauteurs moyennes de précipitation

Nous disposons de données sous un format *.Txt* des hauteurs de pluie par trimestre. Ces dernières étaient disponibles sur 20 ans. Elles étaient géo-référencées (méthode aurélhy), le pas d'espace était de 5 km sur 5 km. Il a fallu dans un premier temps traiter les données brutes [Annexe5], l'objectif, étant d'obtenir pour chaque pixel une valeur moyenne de la hauteur de pluie trimestrielle [Annexe7]. Une fois les moyennes calculées, nous avons établi des quintiles normalisés sur l'ensemble du territoire. Cela consiste à classer l'ensemble des hauteurs moyennes de pluie des quatre trimestres. Ensuite, on construit 5 classes d'effectifs égaux (quintiles). Les bornes ainsi déterminées, étaient les mêmes pour les quatre saisons. [Annexes 13.5 à 13.7]

IV-2. Les intensités de pluie

En ce qui concerne les intensités, nous disposons de données sous format *txt* fournies par la DEPEE. Il s'agissait de pluies journalières sur 6 ans. Nous nous sommes fixé comme limite des hauteurs de pluies supérieures ou égales à 40mm par jour. Ces valeurs ponctuelles existent un ensemble de semis de points géo-référencés couvrant l'ensemble du bassin Seine Normandie. Il s'agit ensuite par le biais d'une interpolation linéaire (par l'inverse de la distance) calculée à partir des valeurs des 10 points voisins, de produire un raster (DAROUSSIN, 1998). Pour le mode opératoire, un programme a dû être créé pour traiter les données brutes. [Annexe9]

En effet il s'agissait de retrouver dans l'ensemble des fichiers toutes les pluies supérieures à 40mm par jour pour les compter, après quoi nous avons créé 3 classes : 0 jours de pluies supérieures à 40 mm par jour, puis un deuxième ensemble de 2 jours de pluies supérieures à 40 mm, enfin plus de 2 jours de pluies supérieures à 40 mm. [Annexes 13.8 et 13.9]

IV-3. L'agressivité de la pluie

En ce qui concerne la combinaison des hauteurs et des intensités de précipitations, nous avons repris la méthode décrite dans le rapport « *cartographie de l'aléa érosion des sols en France* » de l'IFEN. Nous disposons à la base de 5 classes de hauteurs moyennes de précipitations et de 3 classes d'intensités.

Après avoir superposé les deux cartes, nous avons appliqué les règles suivantes :

- Si l'intensité est faible, la classe de précipitation reste identique à celle des hauteurs de pluies.
- Si l'intensité est moyenne, nous augmentons la classe des hauteurs de pluie de 1 unité, ce qui nous donne alors la classe de précipitation.
- Si l'intensité est forte, on augmente la classe des hauteurs de 2 unités (sauf la classe 5 qui ne bouge pas) pour pouvoir obtenir la classe de précipitation. [Annexes 13.10 à 13.12]

DEPTH	RAINFALL INTENSITY			COMBINED RAINFALL AGGRESSIVITY INDEX
	0 - 0.2	> 0.2 - 0.4	> 0.4	
1st quintile: -> 824 mm	1	2	3	
2nd quintile: -> 855 mm	2	3	4	
3rd quintile: -> 888 mm	3	4	5	
4th quintile: -> 922 mm	4	5	5	
5th quintile: -> 959 mm	5	5	5	

Tableau 7 : combinaison des moyennes et des intensités de pluies [d'après Joël DAROUSSIN]

La récolte et le traitement des données sont les étapes les plus longues de l'étude. Elles se heurtent souvent aux réalités économiques et aux limites des connaissances scientifiques en cours. Le principal point à améliorer pour cette cartographie reste le sol. Élément déclenchant du phénomène d'érosion, c'est un paramètre très important qui reste relativement imprécis à l'échelle du bassin et qui devra être amélioré à l'avenir. Toutefois cette étude apporte deux modifications par rapport à la carte de l'IFEN : elle réactualise l'occupation du sol (données Corine2000) et améliore la précision du MNT. C'est donc à partir de l'ensemble de ces paramètres que se construit la nouvelle carte qui justifie cette étude.

Sixième partie : Cartographie de l'aléa érosion

La construction de la carte de l'aléa érosion, Présente deux étapes. La première consiste à définir la sensibilité des sols à l'érosion ; on ne prend en compte que les critères intrinsèques au sol, qui vont définir la susceptibilité de ce dernier à s'éroder. Ce n'est que par la suite, que l'on fait intervenir au cours de la deuxième étape, le facteur pluie qui combine moyennes de pluies et intensités.

I- Détermination de la sensibilité potentielle des sols du bassin au ruissellement

La sensibilité potentielle ne prend pas en compte l'agressivité de la pluie. Elle résulte de la combinaison de : l'occupation du sol, de la battance, de la pente et de l'érodibilité. Chacune de ces couches se présente sous la forme d'une couverture spatiale au format 'grid', géoréférencée dans un même système de projection (Lambert 2 étendu) et dotés de la même résolution spatiale (maille de 100m de coté).

Le but de cette étape est de déterminer un code de sensibilité à l'érosion pour chaque pixel d'une carte combinant l'ensemble de ces facteurs. Ce calcul est effectué grâce à Spatial Analyst, extension à ArcMap et ArcView qui permet d'effectuer des traitements sur les données au format grid. La calculatrice raster est utilisée pour effectuer cette opération :

$$\text{Sensibilité} = [\text{occupation du sol}] * 10\ 000 + [\text{battance}] * 1000 + [\text{pente}] * 10 + [\text{érodibilité}]$$

Nous obtenons ainsi une carte, dont chaque pixel est renseigné par un code de sensibilité. Or, Joël DAROUSSIN de l'INRA d'Orléans nous a fourni une table d'occurrence où tous les codes possibles sont référencés et rattachés à une sensibilité donnée.

Exemple :

Si pour un pixel donné, l'occupation du sol est de classe 2, la battance 3, la pente 2 et l'érodibilité 4, alors le code du pixel sera $(10\ 000 * 2) + (1000 * 3) + (2 * 10) + 4 = 23\ 024$. Le code 23 024 est référencé dans la table d'occurrence avec une sensibilité de 3.

II- Construction de la carte de l'aléa moyen érosion

L'aléa érosion résulte de la combinaison de la sensibilité des sols avec l'érosivité de la pluie. Rappelons que l'étape ci-dessus nous a permis pour chaque pixel de disposer d'un code de sensibilité à l'érosion des sols. Sur le même principe on peut obtenir un code d'aléa érosion, le mode de calcul est le même et l'interface reste Spatial Analyst.

$$\text{Aléa érosion} = \text{sensibilité} + [100 * \text{érosivité}]$$

Une fois le code établi pour chaque pixel, pour que la carte soit plus parlante, il convient de regrouper la multitude de codes obtenus en classes d'aléas érosion. Ceci a été rapidement possible grâce à la table mise à notre disposition par Joël DAROUSSIN qui associe l'ensemble des codes obtenus à des classes d'aléa érosion. Nous avons donc obtenu sur cette carte cinq classe d'aléa.

III- Intégration des résultats

A ce niveau de l'étude, nous disposons de cinq cartes (une moyenne et quatre saisonnières) qui permettent de visualiser l'aléa érosion. L'unité cartographique est constituée par un ensemble de maille de 100m par 100m. Si a priori cela permettrait de disposer de données précises dans les faits il n'en est rien. En fait, la maille a été définie à partir de la donnée la plus précise (soit le MNT) mais la carte de battance, érodibilité... conserve leurs imprécisions. Il n'y a donc que peut d'intérêt à conserver cette échelle d'analyse.

Ceci est d'autant plus vrai qu'il est difficile d'analyser une carte hétérogène « pixélisée » à 100 mètres. Il a fallu intégrer la carte à des échelles plus intéressantes pour l'analyse et la présentation des résultats. Nous avons opté pour :

- Les bassins versants par masses d'eau : cette unité fonctionnelle permettait une bonne analyse des processus d'érosion qui fonctionnent généralement au niveau des bassins versants, chacun d'eux ayant un fonctionnement indépendant des autres.

- Les communes : cette unité décisionnelle, devrait permettre de faciliter ou d'éclairer les prises de décision sont à prendre pour lutter contre un phénomène tel que l'érosion des sols, c'est généralement au niveau des entités administratives (ex : Régions, Départements) qu'elles se prennent puis se transmettent (ex : de Région à Communes).

Le tableau qui suit, et qui nous a permis d'intégrer les différentes cartes de l'aléa érosion, est extraite d'un TD de Joel DAROUSSIN qui nous l'a aimablement fourni pour la réalisation de cette étude.

Règle de classification d'une Unité Spatiale d'Intégration (USI) à partir des pourcentages de surface de chaque classe d'aléa qu'elle contient

Cette règle est basée sur une logique de risque et non de protection. L'aléa intégré par USI sera par exemple 'très fort' si l'une des trois conditions suivantes est respectée :

- l'aléa est 'très fort' pour un petit nombre de pixels ($> 31\%$),
- l'aléa est au minimum 'fort' pour un plus grand nombre de pixels ($> 43\%$),
- l'aléa est au moins 'moyen' pour un nombre important de pixels ($> 62\%$).

Ordre de priorité ^(a)	% de surface des aléas présents dans l'USI ^(b)	Aléa affecté à l'USI
6	aléa 5 $\geq 31\%$ ou aléas 4+5 $\geq 43\%$ ou aléas 3+4+5 $\geq 62\%$	Très fort (5)
6	19% \leq aléa 5 $\leq 31\%$ ou 28% \leq aléas 4+5 $\leq 42\%$ ou 40% \leq aléas 3+4+5 $\leq 61\%$	Fort (4)
6	7% \leq aléa 5 $\leq 18\%$ ou 12% \leq aléas 4+5 $\leq 27\%$ ou 19% \leq aléas 3+4+5 $\leq 39\%$	Moyen (3)
6	1% \leq aléa 5 $\leq 5\%$ ou 1% \leq aléas 4+5 $\leq 11\%$ ou 1% \leq aléas 3+4+5 $\leq 18\%$	Faible (2)
5	sans information $> 20\%$	Pas d'information
4	surfaces en eau $> 44\%$	Zone humide
3	espaces ouverts $> 21\%$	Haute montagne
2	villes $> 50\%$	Zone urbaine
1	aléa 1 $> 84\%$ ou aléa 5 = 0% ou aléas 4+5 = 0% ou aléas 3+4+5 = 0%	Très faible (1)

Tableau 4 : règle de classification pour l'intégration de l'aléa érosion

Le tableau ci-dessus présente six ordres de priorité (soit six combinaisons envisageables) auxquels correspondent neuf types d'aléas (cinq classes d'intensité, zones humides, hautes montagnes, zones urbaines et pas d'information).

Méthodologie d'intégration extraite du TD de Joël DAROUSSIN [Annexe12] :

1. La 1ère étape de l'intégration spatiale consiste à faire un bilan, pour chaque Unité Spatiale d'Intégration [USI], des classes de sensibilité qu'elle contient, et de calculer le pourcentage de surface que chaque classe occupe dans l'USI. Pour cela, on combine spatialement les communes et les aléas. Cette opération ne pouvant s'effectuer qu'entre 2 grilles, il faut préalablement rasteriser les communes.
2. Puis on combine spatialement les communes et les cartes d'aléas grâce à la calculatrice raster disponible dans l'extension Spatial Analyst. Le résultat de cette carte est appelé comsens.
comsens = combine([commune], [alea])
3. On observe alors la table attributaire de comsens. On dispose de la liste de classes d'aléa et du nombre de pixels pour chacune (attribut Count) au sein de chaque commune. Pour calculer le % de chaque classe de sensibilité dans chaque commune il nous faut la surface totale de chaque commune, et la surface totale de l'ensemble de chaque classe d'aléa.
4. Créer l'attribut qui va recevoir le résultat du calcul de % de chaque classe. ArcView n'autorisant pas l'ajout d'attribut sur une table Info, il convient d'exporter la table attributaire de comsens au format DBase (ACCESS): Table attributaire de comsens → Options > Exporter → comsens.dbf.
5. Calculer les aires des différentes classes :
Table comsens.dbf → Area > Calculer les valeurs >
[comsens.Count] / [surf_com.Sum_Count] * 100

On peut alors observer dans la table attributaire des communes (et des bassins versants) du pourcentage de chaque classe d'aléa. Sous ArcINFO, il est alors possible de construire la règle de décision (présentée dans le tableau) ci-dessus, et d'en déduire pour les communes et les bassins versants les différentes classes d'aléas correspondantes.

Ce tableau précise les règles d'intégration. Rappelons que les pixels vont être regroupés dans des unités globales (communes et bassins versants) et que cette manipulation, bien que présentant de nombreux avantages (analyse fonctionnelle, décisionnelle, lissage des erreurs...) présente l'inconvénient d'occulter ponctuellement des événements très forts.

IV- Validation des résultats

Il est important dans ce type d'étude de procéder à une validation. En effet le traitement mécanique permet de travailler sur de très grandes surfaces et de disposer de données intéressantes rapidement. Il permet aussi d'évaluer tout un bassin hydrographique en fonction de critères identiques. Toutefois, cette approche reste basée sur l'utilisation d'un modèle, qui même si il est validé ne peut pas rendre parfaitement compte de la réalité. Il convient d'en tenir compte pour valider ce travail en acceptant un taux d'approximation qui doit rester minime.

La première étape de la validation a consisté à comparer ce travail à d'autres études qui avaient été réalisées auparavant. Il s'agit de :

- Cartes réalisées à dire d'experts (carte 18 de l'aléa érosion disponible dans l'état des lieux officiel de l'Agence de l'eau Seine Normandie).

Dans ce cas là, l'ensemble des zones érosives de l'état des lieux se retrouvent sur la nouvelle carte, à ceci près que cette étude met en évidence de nouvelles zones érosives sur des parties du territoire qui étaient non renseignées.

- Cartes plus globales mais utilisant des données moins précises (Cartographie de l'aléa érosion sur la France entière/ IFEN/ 2001).

- Cartes plus précises mais concernant des étendues géographiques limitées (Cartographie de l'aléa érosion en Haute Normandie).

Pour ces deux cartes, on retrouve globalement les mêmes zones érosives, les différences observées peuvent s'expliquer par les différentes échelles des travaux et donc le degré de précision des données en entrée.

Pour cette première étape, il ne s'agit pas d'une validation à proprement parlée. En effet, la précision des quatre travaux en comparaison, pourrait à elle seule expliquer les différences observées sur les cartes. Le but était ici de voir si les résultats étaient aberrants, en l'occurrence, ils correspondent à une réalité retransmise par l'ensemble des différents travaux.

La véritable validation consistait à soumettre les cartes obtenues à l'analyse des directions de secteurs. Ainsi, la carte a été découpée à six zones, correspondant aux six directions de secteur [DS]. Chaque « zoom » de carte a été envoyé aux experts des DS qui connaissent bien les réalités du terrain. Quand ils jugeaient le travail correct aucune modification à la carte n'était apportée, si des incohérences étaient soulevées, elles étaient alors corrigées sur la carte. [Annexe 10]

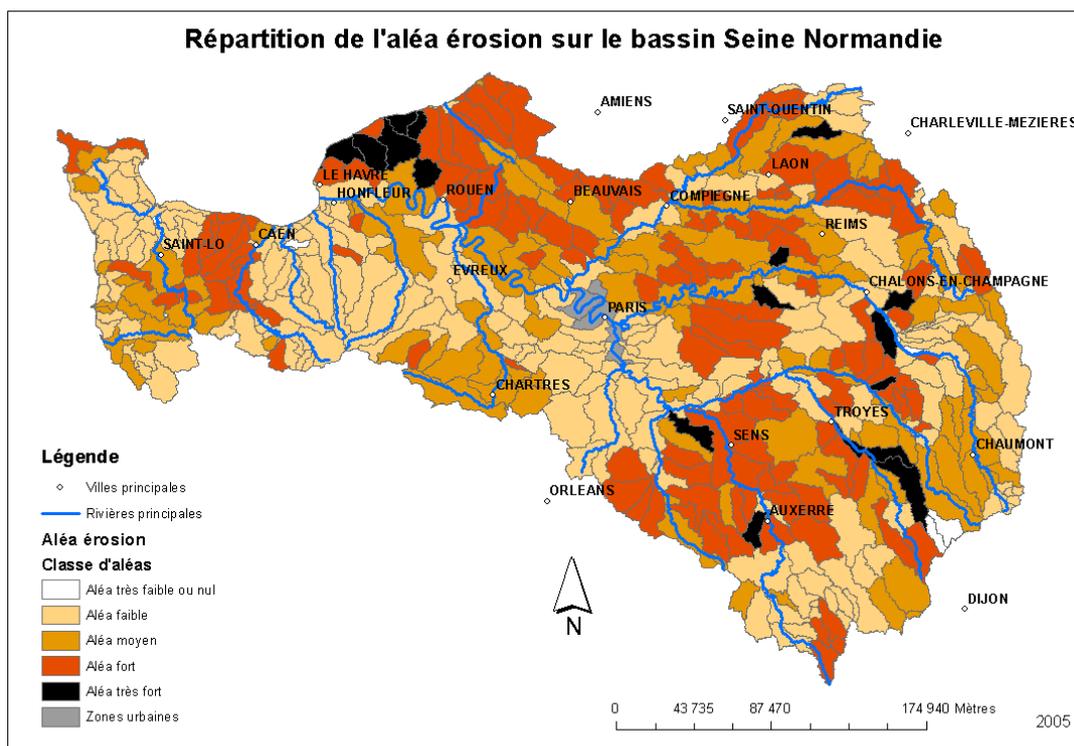


Figure 14 : Carte de l'aléa érosion sur le Bassin Seine Normandie

La carte obtenue permet en fonction de critères identiques à l'ensemble du bassin d'évaluer la situation en ce qui concerne l'aléa érosion. Après validation, elle apparaît représenter correctement la réalité et peut donc constituer un outil d'aide à la décision en ce qui concerne la politique de gestion de l'eau. Toutefois il faut garder à l'esprit, qu'un modèle ne peut pas simuler exactement un phénomène aussi complexe que l'érosion. Ceci est d'autant plus vrai que la qualité des données en entrée reste perfectible. Ces limites acceptées, l'analyse d'une telle carte peut apporter des renseignements intéressants.

Septième partie: Analyse des résultats

L'analyse de l'aléa érosion sur l'ensemble du Bassin Seine Normandie, s'est faite principalement sur la base de la carte des bassins versants. Cela permet d'aborder l'aléa érosion sous un aspect fonctionnel, de plus l'intégration des résultats à cette échelle permet de lisser au maximum les résultats aberrants sans pour autant perdre trop d'information.

I- Le zonage

La carte obtenue permet de visualiser à l'échelle des bassins versants, les zones plus ou moins sensibles à l'érosion. Il est frappant de voir que de nombreuses zones connaissant des problèmes (aléa fort et très fort) ne sont pas comprises à l'intérieur des ZAR. C'est le cas pour des bassins versants isolés, mais surtout pour de grands ensembles de territoires comme la bande comprise entre Saint-Lo et Caen, Beauvais et Compiègne, autour de Sens... Ceci permet de rapidement prendre compte de l'étendu du problème sur l'ensemble du bassin.

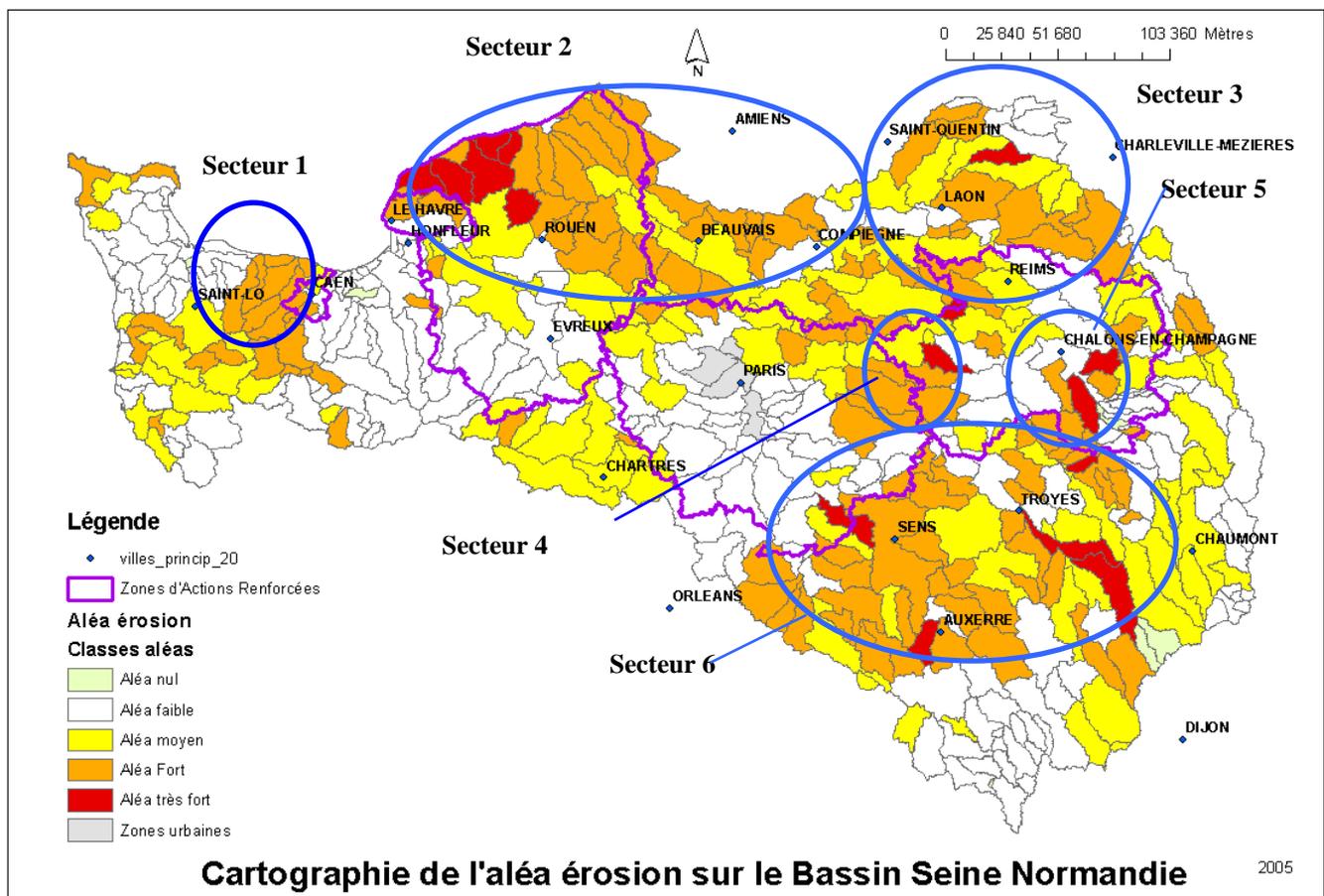


Figure 15 : Comparaison entre ZAR et zones érosives

Ceci nous amène à penser que la lutte contre l'érosion basée sur l'utilisation des ZAR, n'est peut-être pas la plus pertinente. En effet il apparaît que l'érosion est un problème qui concerne de larges territoires, homogènes du point de vue de l'érosion et qui se trouvent en dehors des ZAR. Cette réflexion pourrait pousser par exemple à créer des zones d'actions identifiées, centrée sur des ensembles homogènes connaissant d'importants problèmes d'érosion. Au premier abord on peut observer six ensembles qui apparaissent cerclés en bleu sur la carte.

II- Causes envisageables pour l'érosion :

Sur la base des six secteurs identifiés ci-dessus, nous avons superposé la carte aléa érosion avec quatre facteurs susceptibles d'expliquer l'apparition de phénomènes d'érosion. L'occupation du sol n'a pas été retenue pour cette étape car une typologie de l'aléa érosion basée sur l'occupation du sol a été réalisée dans la partie qui suit. Le but de la manipulation consiste à ne s'intéresser qu'à deux groupes d'aléa érosion [aléa faible (ex-classe 1, 2, 3) et aléa fort (ex-classe 4 et 5)]. Pour les facteurs retenus, ils ont été reclassés en trois classes pour battance et érodibilité (classe 1 : faible, classe 2 : moyenne et classe 3 : forte) et en deux classes pour les pentes (classe 1 : pente < 4% et classe 3 : pentes > 4%) et la pluviométrie (classe 1 : faibles pluies et classe 3 : fortes pluies). Le tableau qui suit, récapitule les observations faites pour chaque secteur :

	Battance	Erodibilité	Pente	Pluviométrie
Secteur 1	3	3	3	3
Secteur 2	3	3	1	3
Secteur 3	1	2	3	1
Secteur 4	3	3	1	1
Secteur 5	1	1	1	1
Secteur 6	2	1	3	1

Tableau 5 : Les causes de l'aléa érosion

Il apparaît comme observation directe, que l'on peut distinguer les secteurs 1 [plaine de Caen], 2 [Haute-Normandie] et 4 [ouest de la vallée de Marne] des autres secteurs. En effet pour ce premier groupe, on observe une très forte sensibilité à l'érosion intrinsèque au territoire. L'érosion y trouve un terrain propice pour se développer avec de fortes battances, érodibilités et pluviométries. Un travail de fond sera donc peut-être à mener plus sur l'aménagement du territoire (couverture des sols) que sur l'activité agricole.

Pour les secteurs 3 [alentour de LAON], 5 [la Champagne] et 6 [le Morvan] les conditions sont moins propices. Ceci reste évidemment à tempérer avec la précision des données surtout en ce qui concerne la pédologie. Le travail de lutte, dans ce cas, pourra concerner a priori l'activité agricole. Ce sont des zones où l'on retrouve des activités « à risque » comme la viticulture, l'exploitation de sapins de Noël... Les différents moyens de lutte seront précisés dans les parties ci-après.

Il est important de préciser que cette approche et ce traitement mécanique sont intéressants pour définir une politique de gestion de la protection de la ressource en eau, mais que les grands ensembles ainsi définis ne doivent pas occulter l'expertise basée sur la connaissance du terrain. En effet certains territoires particuliers (vignobles, culture du sapin de Noël...) doivent être identifiés en tant que tel, pour éviter que des impacts ponctuellement très importants ne soient diminués. C'est pour cela que des modifications ont été apportées à partir de l'expertise des directions de secteur.

Huitième partie : Les enjeux liés à l'érosion et au ruissellement

Les problèmes liés à l'érosion sont de diverses natures et leurs gravités varient avec les impacts qu'ils peuvent avoir sur la ressource. Ainsi, à l'échelle régionale, le ruissellement et l'érosion qu'elle induit peuvent être des facteurs importants de la pollution des eaux superficielles et souterraine. En effet, les eaux de ruissellement gagnant le réseau hydrographique, augmentent la turbidité de l'eau, apportent des pesticides et des éléments eutrophisants. Il est important de préciser que nous ne nous intéresserons qu'au transfert d'éléments en suspension dans la lame d'eau ruisselée, et non pas aux éléments dissous. Les nuisances à l'aval, liées à l'érosion (nous n'évoquerons pas les nuisances amont) se présentent donc sous différentes formes.

I- Impacts des phénomènes de ruissellement et d'érosion sur la ressource en eau

Nous nous sommes appuyés sur l'état des lieux réalisé pour la DCE afin de décliner les enjeux par Direction de secteur [DS]. Cette première étape nous permet de survoler l'ensemble des problématiques en terme de vulnérabilité.

-Seine amont :

Protection des eaux superficielles en limitant les apports dus au ruissellement au niveau du bassin du Loing, de la Seine à l'aval de Troyes, et de l'Yonne à partir d'Auxerre;

Protection de quelques masses d'eaux souterraines : nappe de la craie et de Beauce ;

Protection des rivières les plus sauvages en tête de bassin de la Seine et de l'Yonne, ainsi que dans le Morvan.

-Seine Aval :

Problème très important sur cette DS puisque la quasi-totalité de la ressource en eau provient des nappes situées en zones karstiques. Les enjeux seront donc ici prioritaires puisqu'il s'agira d'un aspect sanitaire pour l'approvisionnement de la ressource en eau.

- Vallée d'Oise :

Il s'agit d'un enjeu clé, puisque là aussi il s'agit de l'alimentation en eau potable. Provenant majoritairement des nappes alluviales, il s'agit de protéger les captages en amont et d'inciter à de bonnes pratiques agricoles.

-Vallée de Marne :

Il est important sur cette DS de préserver la qualité des cours d'eau qui sont trop souvent médiocres. Cet enjeu écologique concerne le vignoble de Champagne, sur les terres agricoles de Chaumont et de Brie ils servent de réceptacle au ruissellement dû à l'érosion.

-Bocages Normands :

On retrouve des nappes très sensibles à la pollution diffuse: les calcaires du Bajo-Bathonien et les arènes granitiques du Sud Manche. De plus, certaines rivières sont très vulnérables, il s'agit par exemple de la Sélune, la Dives et l'Orne aval.

A travers ceci, nous pouvons formaliser 3 types d'enjeux :

Enjeux sanitaires :

- Ces pollutions peuvent affecter des Bassins d'Alimentation de Captage [BAC] (LALLEMAND-BARRES, 1999). Les conséquences sont claires : augmentation du prix de l'eau, et arrêt éventuel de la distribution d'eau potable. Sur le bassin Seine Normandie entre 1997 et 2002 : soixante-dix captages ont été abandonnés à cause des pesticides, 35 installations de traitements spécifiques ont été financées pour un coût total de 76.6 millions d'Euros. Ce type de pollution ne concerne en grande partie que les masses d'eau souterraine,

en effet sauf rares exceptions l'eau potable n'est pas produite à partir d'eaux superficielles. (BEDOS, 2002)

Enjeux écologiques : (BRUNSTEIN, 1999)

- Baisse de la qualité des eaux des rivières par les matières en suspension (MES) apportée par le ruissellement. Cette MES est le vecteur privilégié des matières organiques (qui représente un danger pour l'oxygène nécessaire à la faune) liées par exemple à l'élevage intensif (lisier). Les apports d'azote et de phosphore (engrais minéraux utilisés par des agriculteurs) entraînent l'eutrophisation des étangs (envahissement par les algues), qui à leur tour, asphyxient les poissons. De plus, l'augmentation de l'opacité des eaux diminue l'activité photosynthétique. Outre l'aspect purement écologique, ces problèmes peuvent avoir des impacts sur les différentes activités humaines : la pêche par exemple.
- Envasement du fond des cours d'eau provoqué par un apport de matériaux en suspension. Ces derniers sont alors repris dans la vallée sur le fond et les berges des cours d'eau. On peut assister à des modifications plus ou moins significatives des lits de rivières à la suite de phénomènes de ruissellement et d'érosion.

Enjeu patrimonial :

En accord avec la DEPEE nous avons établi une liste de sites sensibles en rapport avec les enjeux patrimoniaux. Un des objectifs clairement affiché dans le cadre de la DCE est la reconquête du bon état écologique des écosystèmes aquatiques. Or le ruissellement et l'érosion qui en découle, peuvent causer divers problèmes aux zones humides. Leur protection apparaît donc comme un enjeu. Nous déclinons ci-dessous la liste des sites vulnérables ou à protéger :

Les réserves naturelles :

Elles permettent la protection d'une partie du territoire présentant notamment des espèces animales, végétales et des biotopes d'importance particulière ou menacées.

Arrêtés préfectoraux de conservation de biotopes :

Préservation de biotopes contre des activités qui portent atteinte à leur équilibre biologique.

Zones naturelles d'intérêt écologiques faunistique et floristique « eau » :

Il s'agit de Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristiques. On en distingue de deux types : les ZNIEF I qui présentent un intérêt écologique de premier ordre et les ZNIEF II qui présentent des potentialités biologiques intéressantes.

Zones importantes pour la conservation des oiseaux :

Les ZICO correspondent à un inventaire des territoires où se trouvent les populations d'espèces visées par la directive communautaire « Oiseaux » n 79-409 en date du 2 avril 1979.

Convention de RAMSAR :

Elle regroupe des zones humides d'importance internationale, particulièrement comme habitat des oiseaux.

Réserves biogénétiques du conseil de l'Europe :

Il s'agit d'une résolution du conseil de l'Europe qui a pour objectif de préserver des habitats ou des écosystèmes terrestres et aquatique, contribuant au maintien de l'équilibre biologique et à la conservation d'échantillons représentatifs de notre patrimoine naturel européen.

Zone Protection Spéciale et Zone Spéciale de Conservation :

La directive oiseaux engage les Etats membres à classer en Zones de Protection Spéciale ou Zone Spéciale de Conservation certains territoires en attachant une importance particulière à la protection des zones humides.

Remarque :

Dans cette étude l'enjeu patrimonial n'interviendra pas dans la définition des risques. Ce sont des zones réparties sur l'ensemble du bassin pour lesquelles l'impact du ruissellement n'est parfaitement connu. Cet enjeu est donc cité en tant que tel, car ce sont des zones qui restent à préserver d'une manière plus globale.

II- Paramètres retenus pour l'étude

Une fois les enjeux connus, pour définir le risque en rapport avec la protection de l'eau, il faut utiliser des paramètres pertinents (JAPPIOT, 2004). Le fait est que nous ne disposons pas toujours des paramètres nécessaires à l'évaluation des risques souhaités. De plus même si à des échelles plus locales (direction de secteur, départements...) des données existent le but de cette étude est de fournir une analyse globale sur l'ensemble du bassin, et donc avec des données disponibles sur les six directions de secteur. Nous avons listé ci-dessous les paramètres retenus pour cette étape de l'étude :

- Eaux potables superficielles : nous avons utilisé une base de données cartographique qui fournit l'ensemble des communes dont les captages d'eau potable sont superficiels.

Limites : la base de données n'est pas réactualisée régulièrement, voir aussi l'importance de l'effet bassin amont qui connaîtrait des problèmes d'érosion qui se ferait ressentir sur l'aval.

- Eaux potables souterraines : le principe de base pour cette étude est qu'une masse d'eau souterraine présente un risque en rapport avec l'érosion si elle se situe en zone Karstique. Il existe une base de donnée cartographique des masses d'eaux souterraines. Avec une expertise réalisée à l'aide de Cécile GARNIER [DEPEE], nous avons pu déterminer les masses d'eau souterraine qui se trouve en zone karstique.

Limites : les bétoures peuvent propager un problème rencontré en zone karstique vers une autre masse d'eau souterraine qui elle ne sera pourtant pas en zone sensible.

- Ecologie : un stagiaire de la DEPEE Nicolas ANCELIN a réalisé une base de données cartographique, validée où figurent pour l'ensemble du bassin Seine Normandie les états des différents bassins versant en rapport avec des critères écologiques. Dans le cadre de cette étude nous avons retenus deux critères : Phosphates et matières organiques et oxydables. La justification est que parmi l'ensemble des critères proposés ils étaient les plus pertinents par rapport à l'érosion : le phosphate se fixe sur les particules entraînées par le ruissellement, de même que les matières organiques et oxydables.

Limites : il est difficile dans ces données de distinguer la part de responsabilité des phénomènes de ruissellement et d'érosion par rapport à d'autres événements (rejets de stations d'épuration par exemple). De plus les limites de temps et de traitements de données n'ont pas permis d'exploiter d'autres pistes (Matières en suspension, produits phytosanitaires...). Enfin, de nombreux bassins versants restent non renseignés, et posent des problèmes pour l'évaluation des risques.

III- Construction de la carte des risques

Pour la carte des risques nous avons travaillé à l'échelle des bassins versants. La priorité était accordée aux zones présentant un aléa érosion fort ou très fort. Par mesure de précaution, la carte d'aléa moyen a été retouché de la manière suivante : si une saison présente un aléa fort ou très fort et la moyenne un aléa moyen, faible ou nul, alors la moyenne prend la valeur de la saison présentant l'aléa le plus élevé. Cette étape permet de ne pas occulter des événements saisonniers dans l'analyse, qui précisons le, s'appuie tout au long sur la carte moyenne.

Risque « eau potable » :

Si un point d'alimentation de captage en eau potable (souterrain en zone karstique et/ou superficiel) se trouve sur un bassin versant présentant un aléa fort ou très fort, alors ce dernier est classé dans son intégralité en bassin prioritaire d'ordre 1.

Risque « écologique » :

Si un bassin versant présente une altération en Phosphate et/ou en Matières organiques et oxydables, et qu'il présente un aléa érosion fort ou très fort, alors il est classé en bassin prioritaire d'ordre 2.

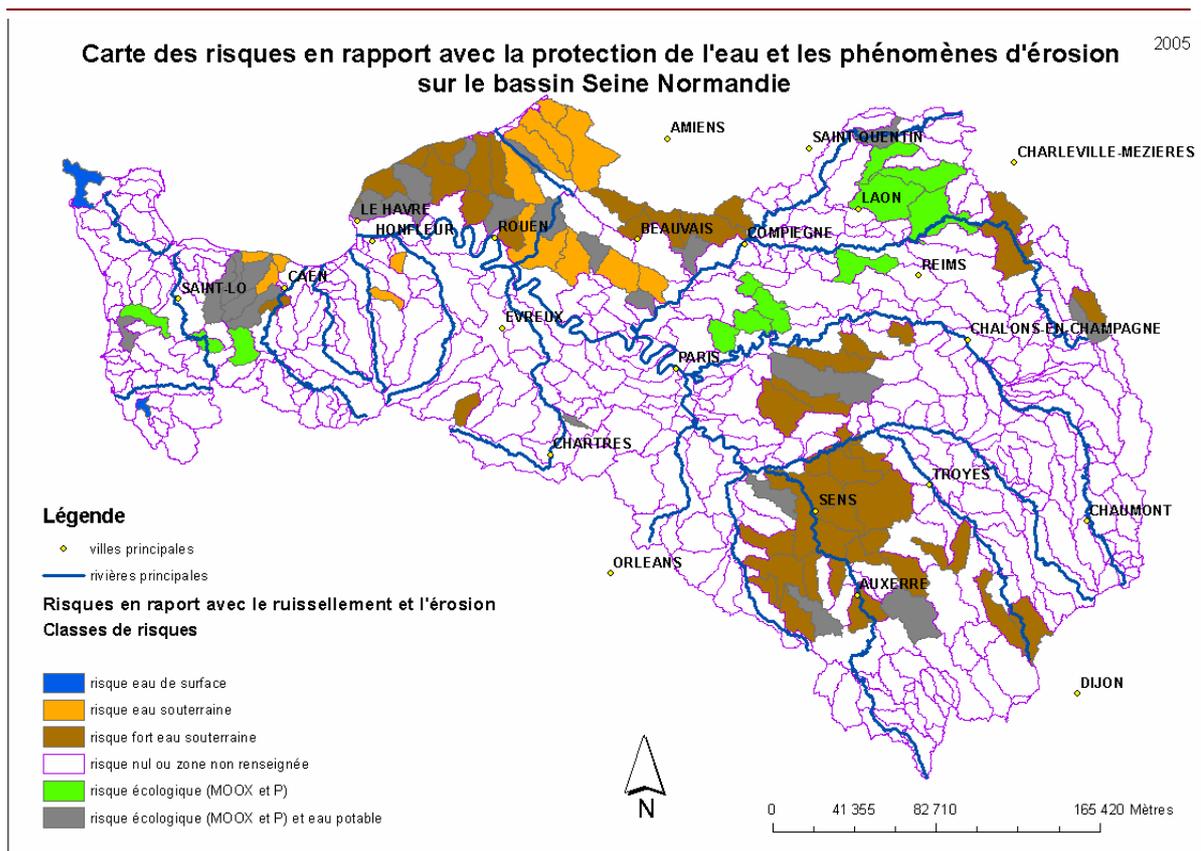


Figure 16 : Carte des risques liés à l'aléa érosion en rapport avec la protection de la ressource en eau.

Cette carte des risques constitue une première étape. Elle permet de visualiser des tendances et de mieux distinguer la notion d'aléa érosion des risques liés aux enjeux de protections de l'eau potable. Toutefois beaucoup de données manquent pour pouvoir établir une carte précise (bassins d'alimentation de captage, de nombreux bassins versants à enjeux écologiques...).

Neuvième partie : typologie de phénomènes d'érosion et moyens de lutte

I- Typologie des phénomènes érosifs

Sur la base de l'expertise réalisée par Yves LE BISSONNAIS dans le cadre de l'étude de l'IFEN, nous avons construit le tableau récapitulatif suivant. Ce dernier devrait faciliter l'analyse de la carte puisqu'il permet de regrouper des types de processus érosifs en fonction de critères pertinents.

	Erosion en grande culture		Erosion de vignobles et de vergers		Erosion de montagne
Typologie de l'érosion	Erosion automnale et hivernale	Orages de printemps et d'été.	Erosion par concentration du ruissellement	Erosion par décapage d'un sol ameubli.	(altitude>700m) et fortes pentes
Sols	Sensibles à la battance:sols limoneux, pauvres en argiles et en matières organiques.	Sols fortement ameublés à faibles teneurs en argile.	Sols imperméables à cause du tassement provoqué par les machines.	Sols ameublés par un travail important des inter rangs.	Les matériaux parentaux sont instables.
Couverture végétale	Cultures d'hiver donc sols nus durant la période hivernale ou sols compactés par les récoltes estivales (travail des	Sols non ou peu couverts et affinés pour le lit de semence.	Sols généralement nus par destruction de la végétation herbacée.	Pas de couverture mais bonne infiltrabilité grâce au travail du sol.	
Type érosif	Erosion diffuse	Ecoulement boueux	Erosion linéaire	Ecoulement boueux	Erosions linéaires et écoulements boueux

Pour construire cette typologie nous nous sommes appuyés sur le RGA qui donne à l'échelle des cantons des données beaucoup plus précises que Corin Land Cover. L'intérêt de construire la typologie à partir du RGA est que le premier critère déterminant l'érosion est l'occupation du sol. Or les deux autres critères prépondérants étant la battance et l'érodibilité, et n'ayant pas accès à des données assez précises, nous nous appuyerons exclusivement sur les trois types de cultures : vignobles, grandes cultures et polyculture élevage (BOIFFIN, 1988)

Limites :

D'emblée un problème va apparaître, le vignoble qui peut connaître localement d'important problèmes d'érosion est constitué par un parcellaire généralement morcelé et qui reste minoritaire sur un bassin versant. Il sera donc très difficile de donner une typologie vignoble à un bassin versant, sans biaiser l'analyse. A partir d'analyses menées avec les directions de secteur, quelques bassins versants ont été classés en « typologie vignoble », mais la méthode reste à améliorer.

Un autre problème, plus local concerne la culture des sapins de Noël dans le Morvan. Reconnu comme étant des zones forestières, on ne tient plus compte de l'utilisation importante des produits phytosanitaires et des coupes franches qui vont entraîner des phénomènes de ruissellement et d'érosion, impossible à détecter par le modèle seul.

Il est à préciser que seuls les bassins versants présentant un risque d'érosion fort ou très fort ont été défini du point de vue de la typologie.

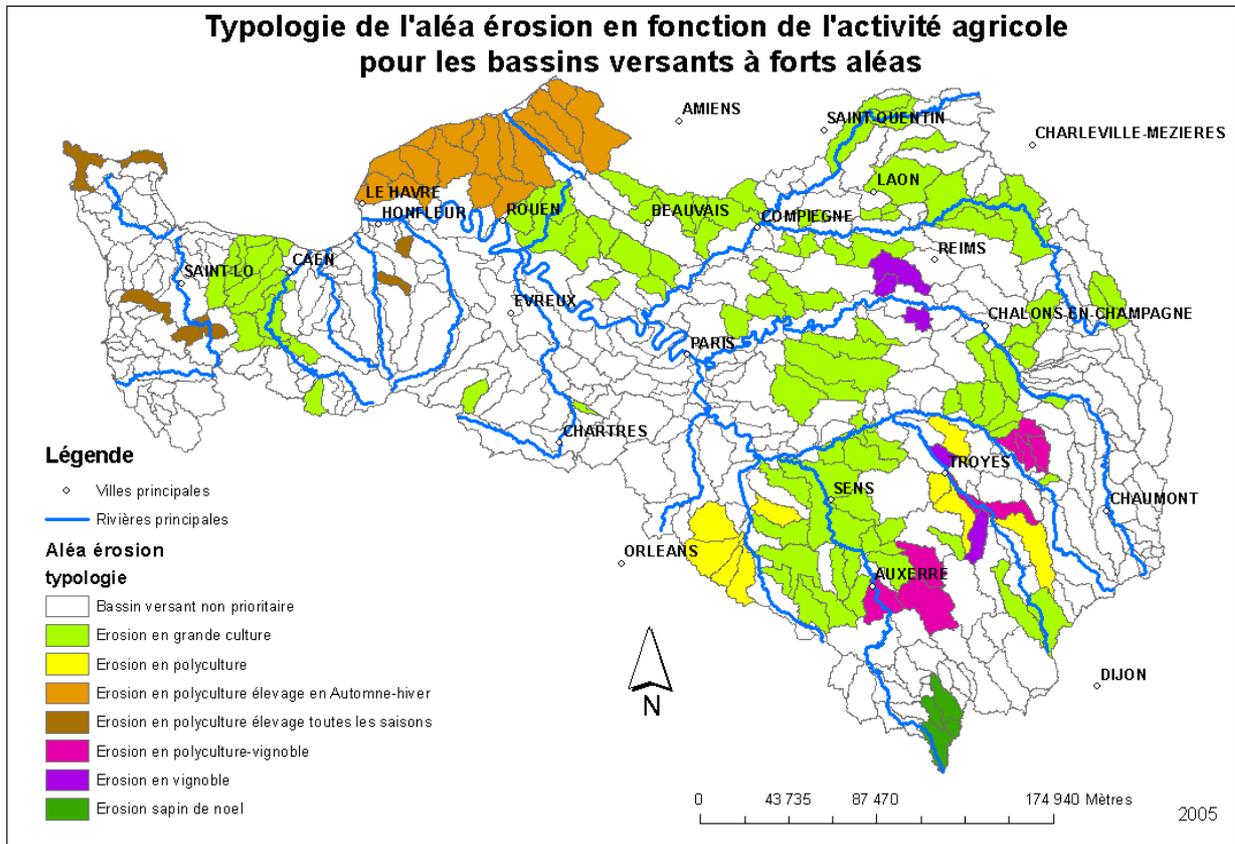


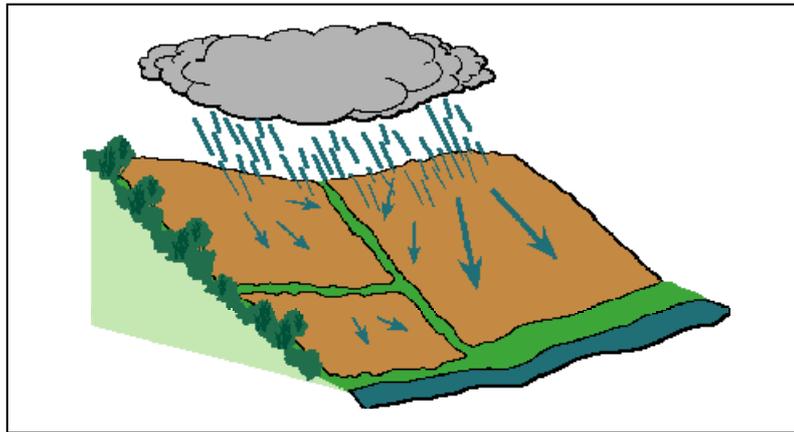
Figure 17 : Typologie de l'aléa érosion.

Plusieurs éléments peuvent être mis en évidence sur cette carte. Le premier c'est la présence d'importantes surfaces de grandes cultures sur l'ensemble du bassin. Ces dernières constituent un terrain favorable pour l'érosion puisqu'il s'agit de grandes parcelles héritées du remembrement qui laissent souvent les sols nus en hiver. Le problème pour ces zones, est que la terre est fortement valorisée par l'exploitation de céréales, cultures industrielles... et que l'enherbement des parcelles ou la mise en place de bandes enherbées sont donc difficiles à mettre en place.

Au niveau de la DS Seine Amont il est intéressant de remarquer la très grande variété de cultures dont deux particulières dans le cadre de l'érosion (viticulture et exploitation des sapins de Noël). Sur de telles zones il faudra certainement multiplier les moyens de lutte pour s'adapter à la diversité des cas (enherbement de l'inter rang, mesures pour la culture des sapins de Noël...) (BOLLINE, 1982).

II- La lutte contre l'érosion

Les phénomènes d'érosion et de ruissellement se rencontrent sur des zones identifiées. Il faut maintenant trouver des solutions adaptées (HEUSCH, 1988). Il est difficile d'imaginer des solutions génériques pour des problèmes érosifs. En effet, elles doivent être adaptées au type d'aléa, aux territoires et aux acteurs. Le but de cette partie est donc de fournir quelques pistes de réflexion pour résoudre le problème de ruissellement et d'érosion (SOUCHERE, 1995)



Des bandes enherbées pour limiter le ruissellement (d'après syngenta).

Le schéma ci-dessus permet d'envisager trois moyens de lutte (GRILL, 1991):

- Au niveau de la parcelle pour limiter l'érosion à la source, la lutte peut passer par une couverture du sol.
 - Au niveau du transfert pour limiter les conséquences, on peut mettre en place des haies, limiter la présence de fertilisant dans la lame d'eau ruisselée.
 - au niveau curatif il faudrait mettre en place des bassins de rétention.
- (LEBRUN, 2000)

II-1. Les aides pour lutter contre l'érosion : les MAE

Dans le cadre de la coordination avec le règlement de développement rural nous nous intéresserons principalement aux Mesures Agri Environnementales [MAE]. La politique agricole européenne autorise depuis 1985 les Etats membres à rémunérer des agriculteurs pour le maintien ou l'introduction de pratiques de production compatibles avec des objectifs de protection de l'environnement ou de maintien des paysages. Ceci est basé sur l'utilisation des MAE (second pilier de la PAC). Elles se présentent sous la forme d'un catalogue de mesures qui sont déclinées au plan national et régional. Leurs souscriptions sont conditionnées à des engagements pour des durées minimales de cinq ans.

II-2. Adaptation des mesures au terrain

Par rapport aux MAE trois types de mesures peuvent être citées :

- Couvertures des sols l'hiver, pour éviter de laisser des sols nus durant les périodes de fortes pluies.
- Mises en place de haie et de talus en fin de parcelles en pentes, en fond de talwegs et dans tout autre zone sensible.
- Enherbement des parcelles les plus sensibles au ruissellement et à l'érosion.

Même si il est difficile de préconiser une méthode de lutte à partir d'une carte, il est possible d'estimer ou d'envisager grossièrement comment ils se répartiront sur l'ensemble du bassin. Le principe de la typologie des aides est le suivant :

- En zones de vignoble, les manœuvres d'aménagement des parcelles sont difficiles à envisager. Aussi la seule préconisation possible est l'enherbement des inters rangs.
- En zones de polycultures élevage, il sera possible de préconiser l'enherbement des parcelles en méthode de lutte préventive et le positionnement de haies et talus en curatif.
- En zones de grandes culture, il est souvent difficile d'envisager l'enherbement des parcelles par contre il sera opportun de favoriser la mise en place de culture d'hiver.

D'une manière générale un aspect important dans l'apparition de phénomènes érosifs, est la dégradation de l'état de surface du sol à travers sa perte de structure. La dégradation entraîne peu de transports, mais une réorganisation et un tassement, qui favoriseront l'apparition d'érosion en nappe et d'érosion linéaire. Les causes peuvent quant à elles, être une minéralisation de la matière organique, la compaction du sol... Dès lors, les facteurs de résistance du milieu sont : une bonne teneur en matières organiques, un bon drainage...

III- Déclinaison des MAE

Nous avons choisi trois MAE pour lutter contre l'érosion, elles sont mises en rapport avec le type de culture qui rappelle le défini aussi la typologie de l'aléa érosion. Elles ont été choisies pour leurs pertinences et leurs modalités d'emploi. Pour déterminer un coût global approximatif nous nous sommes appuyés sur les renseignements du RGA. Dans ce dernier nous avons accès à l'assolement de chaque canton du bassin Seine-Normandie. Nous avons retenu uniquement les cantons qui connaissent des problèmes d'érosion. Au niveau des cultures nous avons retenu que celles sur lesquelles les MAE choisies pouvaient s'appliquer.

Mesure 0304 : Pas de désherbage dans l'interligne des cultures pérennes entre le 15 août et le 1^{er} février [cultures retenues : vignes et vergers]

Coût : 53,36 euros par hectare et par an.



Enherbement des vignes Robbez-Masson Limoux 05/02/2005

Mesure 0402: Enherbement [Sur 15% de la SAU]

Coût : 106.71 euros par hectare et par an.



Positionnement de bandes enherbées photo : Jean Louis Gallais

Mesure 0301 : Implantation d'une culture intermédiaire sur sol laissé nu en hiver.

Coût : 76.22 euros par hectare et par an.

-Pour l'enherbement de l'inter rang nous avons retenu les vergers et les vignes, nous disposons de la surface en hectare de ces types de cultures pour l'ensemble des cantons du bassin. On considère que l'on va appliquer la mesure seulement un rang sur deux, donc le coût total est à diviser par 2.

-Pour l'enherbement général de la SAU [précisons que à ce niveau on soustrait de la SAU les surfaces en cultures pérennes sur lesquelles est appliquée la mesure 0304] : nous avons opté pour 15% de la SAU qui n'est pas encore enherbée, la méthode consiste à soustraire à la SAU totale de chaque canton retenu les surfaces en prairies permanentes.

On obtient alors le pourcentage de surface enherbée, on en déduit le pourcentage manquant pour atteindre les 15% de SAU enherbée. A partir de là on en déduit la surface à traiter et le coût total de l'opération. Rappelons que si 15% de la SAU est déjà en herbe on n'applique pas la mesure 0402 pour le canton concernée.

-Pour la couverture des sols nus l'hiver, on sélectionne parmi les cultures recensées celles qui laissent les sols nus l'hiver. Sur cette surface SN obtenue on estime que l'on retrouvera environ 40% des surfaces enherbées SH, que l'on retire de SN pour ne pas appliquer deux mesures sur une même surface.

Erreur ! Liaison incorrecte.

Extrait du tableau récapitulatif des bases du traitement

Mode de calcul :

Coût enherbement de l'inter rang = Surface des cultures pérennes * 53.36 Euros

A partir de là la SAU α [sans cultures pérennes] qui nous intéresse est :

SAU totale utilisée – Surface des cultures pérennes

*Pourcentage surface en herbe par SAU $\alpha = (\text{prairie permanente} / \text{SAU } \alpha) * 100$*

Si pourcentage surface en herbe par SAU $\alpha > 15\%$ on n'applique aucune mesure d'enherbement.

Si pourcentage surface en herbe par SAU $\alpha < 15\%$ alors il faut enherber un pourcentage égal à :

15 – pourcentage surface en herbe = Pourcentage à enherber

*La surface à enherber est alors de = pourcentage à enherber * SAU α*

Le coût devient surface à enherber * 106.71 Euros.

En moyenne, les surfaces d'hiver représentent 18% de la SAU α , donc on part du principe que 18% des sols laissant les sols nus l'hiver seront enherbés, et n'auront pas à être couverts durant la saison hivernale. Ce n'est donc plus l'intégralité de la surface laissant les sols nus l'hiver qui devra être traités mais :

*Surface des cultures laissant les sols nus l'hiver - (0.18 * surfaces à enherber)*

Le coût des surfaces à enherber durant l'hiver devient :

[(Surface des cultures laissant les sols nus l'hiver – (surfaces à enherber * 0.18)] * 76.22 euros)

CONCLUSION

L'aléa érosion a fait l'objet de nombreuses études à différentes échelles nationales, départementales... Le géo référencement des zones sensibles au ruissellement et à l'érosion sur le bassin Seine-Normandie se nourrit de ces travaux. L'intérêt de ce projet se traduit par le fait qu'il s'agit d'un travail à grande échelle pour lequel les données d'entrée (par rapport à des travaux similaires) ont été actualisées ou améliorées. De plus l'érosion concernant de larges territoires sur le bassin apparaît comme un problème préoccupant et prioritaire pour le 9^o programme d'intervention de l'Agence de l'eau Seine Normandie.

La première constatation est l'ampleur du phénomène sur un bassin durement touché par le problème. La deuxième observation, fait apparaître une incohérence. Jusqu'à ce jour, les seules actions mises en place le sont au sein des Zones d'Actions Renforcées, qui paient une redevance spéciale. Or la carte fait apparaître d'autres zones homogènes, qui ne font pas parties des ZAR et pour lesquelles rien n'est fait. Il serait donc intéressant, éventuellement, de modifier ce système de fonctionnement pour généraliser la redevance afin de pouvoir mettre en place des actions sur des zones identifiées comme étant prioritaires, et qui ne font pas forcément parties des ZAR.

Enfin cette carte confirme que certains secteurs comme la plaine de Caen ou la Haute Normandie sont prédisposés à connaître des problèmes d'érosion. Une attention particulière doit donc être apportée à de telles zones qui sont sensibles a priori, et qui nécessiteraient de profonds changements de comportements. Enfin cette étude s'achève par une cartographie des enjeux liés à la protection en eau potable. En fait, plus que de cartographie, il faudrait parler de tendance. En effet si les problèmes liés à l'érosion sont bien connus, il reste difficile d'évaluer l'impact de ce phénomène sur la ressource en eau. Par exemple, en ce qui concerne la protection des ressources en eaux souterraines, il reste difficile à grande échelle de tenir compte des effets des bétoires. En ce qui concerne le phosphate et les matières organiques il est difficile de distinguer la part liée à l'érosion de celle des stations d'épuration...

Mesure proposée :

Sur 3 Zones d'Action Renforcée, pour lesquelles une sur-redevance est perçue, des aides sont accordées pour la lutte contre l'érosion et le ruissellement. La ZAR Ile-de-France est dans un contexte différent, liée à la distribution d'eau potable. Cependant de nombreuses zones avec aléas forts et très forts, ne sont pas comprises à l'intérieur des ZAR. C'est le cas pour des bassins versants isolés, mais surtout pour de grands ensembles de territoires. La carte suivante permet de rapidement se rendre compte de l'étendue de la situation. A l'heure actuelle nous n'intervenons pas sur ces secteurs pour les problématiques érosion et ruissellement. Propositions sur les évolutions de la redevance ZAR :

- Suppression des ZAR concernant les problématiques érosion et ruissellement, relèvement du taux de base redevance prélèvement pour l'ensemble des usagers du bassin et mise en place de programmes d'intervention uniquement sur les secteurs identifiés aléas fort ou très forts du bassin.
- A l'heure actuelle certaines ZAR permettent de travailler sur des problématiques de distribution ou d'économies d'eau eau potable. Cette proposition est indépendante de cette problématique (des ZAR pourraient être conservées pour cet objet telle celle de l'Ile de France).

Ce travail de cartographie semble avoir atteint son objectif de définir des ensembles homogènes qui connaissent des problèmes d'érosion. Le modèle dont s'inspire ce travail a été validé, et les cartes qui en résultent ont été confrontées à des avis d'experts, ainsi qu'à d'autres travaux précédemment réalisés. Il semble donc que les résultats soient cohérents et qu'ils correspondent à une réalité. Toutefois toutes modélisations ne retranscrit pas parfaitement la réalité, et il ne faut pas attendre de ce modèle et de cette carte un repérage exhaustif et parfait des zones sensibles à l'aléa érosion.

Il s'agit là d'un outil très intéressant et puissant pour définir une politique globale de gestion de l'eau mais qui ne peut s'affranchir d'une expertise locale pour décliner des actions durables et adaptées.

Cette étude pour être pleinement valorisée doit se poursuivre par la suite et à ce titre nous faisons quelques recommandations.

Améliorer la précision :

Réaliser des zooms sur la carte d'aléa érosion en travaillant sur des régions pour lesquelles des données beaucoup plus précises peuvent exister. Cela concerne surtout les données sol qui restent le point sombre de cette étude. En effet, nous avons travaillé à partir d'une carte pédologique au 1/1 000 000, ce qui peut être amélioré. Or il existe sur quelques régions des données plus précises (de l'ordre du 1/100 000) qu'il conviendrait d'exploiter. Cela permettrait d'améliorer la précision de la cartographie. Dominique ARROUAYS de l'INRA d'Orléans dispose de régions, dont la région Ile de France, à l'échelle 1/100 000. Cela constituerait une première approche intéressante, mais nécessite un travail important sur les données de base, notamment l'établissement des règles de pédo transfert.

Mieux connaître les causes :

Réaliser une étude par bassins versants prioritaires qui permettrait d'identifier parfaitement bien les causes de l'érosion. Cette étude s'appuierait sur une large collaboration avec les directions de secteur et sur des travaux importants sur différentes bases de données. Il s'agirait d'approfondir certains thèmes déjà connus (couvertures des sols, pratiques agricoles...) et d'en faire intervenir de nouveaux comme la teneur en matière organique des sols. A l'issue de ce travail nous connaîtrions alors les zones sensibles à l'érosion et les causes de l'érosion, tout cela à des échelles intéressantes. François LAMY, de l'Agence de l'eau Seine Normandie disposerait de données géo-référencées qui renseigneraient sur l'état de surface des sols, le type de couverture végétale...

Mieux connaître les conséquences :

Réaliser un bilan par bassins versants des impacts de l'érosion sur la ressource en eau. Il s'agit pour cette étape de bien cerner les problèmes que peut poser l'érosion à la ressource en eau mais aussi de pouvoir quantifier ces problèmes. En travaillant avec des acteurs de terrain, il serait possible de mettre plus facilement en regard les enjeux environnementaux et de protection de la ressource en eau potable. Une fois ce travail réalisé, il serait enfin possible de cartographier les enjeux liés à la protection de l'eau potable, mais aussi d'estimer la réussite des politiques mises en œuvre pour lutter contre ce fléau.

Déterminer les zones d'accumulation de ruissellement :

La modélisation par STREAM permet de tenir compte de l'écoulement de la lame d'eau ruisselée et donc de déterminer a priori les zones d'accumulation, ce qui n'était pas possible avec la carte obtenue à l'issue de cette étude. De plus, La cartographie réalisée est basée sur des événements statistiques. C'est-à-dire que l'on tient compte des moyennes de précipitations. Ainsi, si une zone est prédisposée à s'éroder mais qu'il n'y pleut pas souvent elle n'apparaît pas comme étant prioritaire sur la carte. Or cela ne veut pas dire que si un événement pluvieux important et ponctuel s'y produit il ne se passera rien. La modélisation par STREAM permet donc d'appliquer la même pluviométrie sur tout le bassin, et en fonction des fréquences d'apparition de ces pluies de conclure à une période de retour de l'événement.

Olivier Cerdan, basé au BRGM d'Orléans, constituerait pour cette approche la personne ressource adéquate.

GLOSSAIRE

Érodibilité :

Stabilité et cohésion des matériaux parentaux qui traduisent leur capacité à pouvoir être mobilisés par un ruissellement ou une coulée plus importante.

Battance :

Sensibilité des sols à la dégradation de sa structure superficielle sous l'action des pluies, qui entraîne une diminution importante de l'infiltrabilité et de la rugosité des sols.

Règle de pédo-transferts :

Ce terme est dérivé du concept de « transfert fonction » 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.

Les syndicats de bassins versants :

Ce sont des structures intercommunales qui suivent les lignes de crêtes afin de pouvoir gérer de façon cohérente les problèmes d'inondation et de coulées boueuses. Un des leviers d'action sur lesquels ils peuvent agir, est le volet agricole pour limiter la production de ruissellement et d'érosion.

Effet splash : ce terme désigne le phénomène de projection des particules de sol provoqué par la collision entre les gouttes de pluie et les agrégats de surface (motte).

Erosivité : c'est la capacité d'un flux à mettre en suspension des particules du sol. Elle varie avec sa nature, la quantité d'éléments transportés et la vitesse. Plus cette dernière baisse plus l'érosivité baisse. C'est cette baisse qui provoque la sédimentation des éléments transportés.

Bassin versant élémentaire *Elementary watershed, Elementary catchment*

Portion de territoire de quelques hectares à quelques dizaines ou centaines d'hectares recueillant les eaux superficielles vers un même point du cours d'eau situé en amont du réseau hydrographique permanent. Il est défini par ce point, l'exutoire, et par une ligne de crête qui isole ainsi un bassin versant donné des bassins contigus.

Bassin versant *Watershed, Catchment*

Portion de territoire recueillant l'ensemble des eaux superficielles alimentant un cours d'eau.

Battance *Crusting*

Action de fortes pluies sur la surface du sol, et par extension évolution de la structure de surface des sols par la désagrégation des mottes et la formation de structures appelées croûtes de battance : on distingue les croûtes structurales qui sont le produit d'une réorganisation de la structure superficielle et d'une fermeture de la porosité de surface ; et les croûtes sédimentaires, qui résultent de dépôts lités successifs de sédiments dans les flaques apparues suite à un excès d'eau.

Capacité d'infiltration *Infiltration capacity*

Quantité maximum d'eau qui s'infiltré dans le sol au temps « t ». Elle dépend des constituants et de l'arrangement de la porosité du sol. Elle varie dans le temps en fonction de l'état de saturation du sol (voir chapitre 15).

Compétence du ruissellement *Flow competence*

Aptitude du ruissellement à transporter des particules solides.

Croûtes sédimentaires *Sedimentary crusts*

Croûtes formées dans les dépressions de la surface du sol par le dépôt des particules dans les flaques et les chemins de circulation de l'eau de ruissellement.

Croûtes structurales *Structural crusts*

Croûtes formées à la surface du sol suite à la désagrégation et au splash sous l'action des pluies.

Dérayure *Dead Furrow*

Espace libre qui sépare deux planches de labour. Par extension, ce terme désigne le dernier sillon creusé lors d'un labour qui, n'étant pas encore recouvert, constitue un chemin de circulation des eaux superficielles.

Désagrégation *Breakdown, Disaggregation*

Processus de fragmentation du sol qui se fait par différents mécanismes et qui affecte différents niveaux de la structure du sol depuis les interactions des particules d'argile jusqu'aux mottes de terre. Les principaux mécanismes de désagrégation sont la dispersion physico-chimique, l'éclatement par piégeage d'air, la fissuration gonflement/retrait et la désagrégation mécanique par impact des gouttes. La sensibilité des sols à la désagrégation est fonction de leurs caractéristiques physico-chimiques, et en particulier de leur teneur en argile, en matière organique, en oxydes de fer et en cations dispersants.

Érodibilité *Erodibility*

C'est une mesure de la facilité avec laquelle le sol est érodé qui est liée à la sensibilité des sols ou des matériaux superficiels à être emporté par le ruissellement. Cette sensibilité est très liée à la stabilité structurale, mais elle dépend aussi de l'état physique de la surface : tassement, travail du sol, battance...

Érosion *Erosion*

Processus de détachement et de transport de matières solides. Le terme désigne aussi le bilan d'exportation de matière par unité de surface.

Érosion concentrée *Linear Erosion, Rill Erosion*

Érosion pour laquelle les transports, s'ils sont liés à l'eau, se font de façon localisée, dans des rigoles ou des chenaux.

Érosion diffuse *Sheet Erosion, Interrill Erosion*

Érosion pour laquelle les transports, s'ils sont liés à l'eau, se font sous forme d'une lame d'eau répartie de façon quasi-uniforme à la surface du sol.

Érosion régressive *Headward Erosion*

Érosion concentrée qui démarre de l'aval à partir d'un point de rupture de la topographie mettant à nu un horizon de sol sous-jacent plus fragile que la surface.

Érosivité de la pluie *Rainfall Erosivity*

Aptitude de la pluie à provoquer les phénomènes d'érosion.

Fourrière

Zone en bordure de parcelle que l'agriculteur utilise pour effectuer ses demi-tours, et qui est travaillée perpendiculairement au sens principal de travail du sol.

Modèles statistiques ou empiriques *Empirical Models*

Ils établissent une loi mathématique reliant la variable de sortie à des variables d'entrée, dont la forme et les coefficients sont calés sur le terrain.

Mulch *Mulch*

Couverture du sol par des résidus de végétaux.

Rétention en eau à la surface *Depressional storage*

La microtopographie créée à la surface du sol des bosses et des creux qui définiront le lieu d'apparition des flaques, avant que le ruissellement ne démarre. Le volume représenté par l'ensemble de ces flaques remplies à leur maximum constitue la rétention à la surface.

Ruissellement *Surface Runoff, Overland Flow*

Écoulement par gravité de l'eau à la surface du sol. Le coefficient de ruissellement (CR) est le rapport de la quantité de l'eau de pluie qui a ruisselé (R) sur la quantité de pluie tombée (P) multipliée par 100 : $CR = R/(P * 100)$.

Ruissellement hortonien *Horton Overland Flow*

Ruissellement qui a lieu lorsque la capacité d'infiltration du sol est inférieure à l'intensité de la pluie. C'est en particulier le cas de horizons présentant une croûte de battance.

Ruissellement par saturation *Saturation Overland Flow*

Le ruissellement est provoqué par l'eau infiltrée dans un sol saturé

Système de culture *Agricultural system*

Il implique un raisonnement de l'assolement sur plusieurs années

Splash (effet) *Splash*

Déplacement par rejaillissement des fragments individualisés après désagrégation.

Stabilité structurale *aggregate stability*

Aptitude des sols à résister à la désagrégation. C'est un indicateur de la cohésion des agrégats et de leur résistance à la désagrégation sous l'effet de la pluie qui se mesure par un tamisage dans l'eau.

attribut

Caractéristique d'une entité cartographique. Les attributs d'un fleuve peuvent être par exemple son nom, sa longueur, sa profondeur moyenne, etc.

Cellule

Unité uniforme ponctuellement (par exemple un mètre carré ou un mile carré) représentant une portion du globe dans un raster. La cellule possède une valeur correspondant à l'entité ou caractéristique de ce site telle que le type de sol, le secteur de recensement ou l'altitude.

Champ

Colonne d'une table. Chaque champ contient les valeurs d'un attribut unique.

Couche

Ensemble d'entités géographiques semblables, par exemple cours d'eau, lacs, départements ou villes, d'une zone ou d'un endroit particulier à afficher sur la carte. Une couche référence des données géographiques enregistrées dans une source de données, telles que la couverture, et définit leur affichage. Vous pouvez créer et gérer des couches tout comme vous le feriez avec n'importe quel autre type de données de votre base de données.

Raster

Représente une source de données s'appuyant sur une structure de grille pour stocker les informations géographiques.

BIBLIOGRAPHIE

Liste des ouvrages consultés

- AUZET V., LILIN C., PAULET B., 1987- L'Érosion des sols par l'eau dans les régions de grandes cultures: aspects agronomiques. Paris: Ministère de l'Environnement / Ministère de l'Agriculture, 60 p.
- BEDOS *et al*, 2002- Modélisation des transferts de pesticides dans l'environnement. ECRIN.
- BLUM *et al* , 2003 - Etude et gestion des sols. Association française pour l'étude des sols.
- 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*, vol. 8, n°8.
- BOLLINE A., 1982- Etude et prévision de l'érosion des sols limoneux en moyenne Belgique. Thèse Doctorat de Géographie. Université de Liège.
- BRUNSTEIN D., 1999- BD_SENEQUE: une application SIG pour le modèle bioécologique Sénèque. Laboratoire de Géographie Physique UMR8591, MEUDON.
- DAROUSSIN J et KING D., 1996 - METADATA: Pédo-transferts rules database v.2.0 for environmental interpretations. INRA Ardon.
- DUBREUIL N., LE BISSONNAIS Y., DAROUSSIN J., 2003- Cartographie des risques d'érosion dans le département de l'Aisne. Rapport technique de l'INRA.
- DUPRIEZ H. et DE LEENER P., 1990- Les chemins de l'eau: ruissellement, irrigation, drainage. Terres et Vie. Nivelles (Belgique).
- GRILL JJ. et DUVOUX B., 1991 - Maîtrise du ruissellement et de l'érosion, condition d'adaptation des méthodes américaines. CEMAGREF édition, Antony.
- HEUSCH B., 1988- Aménagement d'un terroir. Techniques de lutte contre l'érosion. CNEARC, Montpellier, France.
- JAMAGNE M., MONTANARELLA L., DAROUSSIN J., EIMBERCK M., KING D., LAMBERT J-J., LE BAS C., ZDRULI P., 2001 - Methodology and experience from the soil geographical database of Europe at 1 :1000000 scale. Rapport du groupe de travail INRA/CIHEAM.

JAPPIOT M., 2004 - Une approche pour l'étude des risques. CEMAGREF.

KING D *et al.*, 1991- Évaluation 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.

LALLEMAND-BARRES A., ROUX J-C., 1999 - Périmètres de protection des captages d'eau souterraine destinée à la consommation humaine. Manuels et méthodes, édition du BRGM.

LEBISSONNAIS Y., 1988 - Analyse des mécanismes de dégradation et de modélisation des particules de terres sous l'action des pluies. Thèse université d'ORLÉANS.

LE BISSONNAIS *et al.*, 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.

LE BISSONNAIS Y., THORETTE J., BARDET C., DAROUSSIN J., 2002- L'érosion hydrique des sols en France. INRA Orléans / IFEN.

LEBRUN P., 2000- Évaluation technico-économique des mesures anti-érosives installées sur un versant du Lauragais. Rapport de stage. Toulouse: INRA-SAD, 25 p. + annexes.

LE GOUEE P., 2004 - Le ruissellement et l'érosion des sols dans le bassin versant du Moulin Pontorsier (Sud Manche). GEOPHEN-CNRS.

LUDWIG B., 2000 - Les déterminants agricoles du ruissellement et de l'érosion : de la parcelle au bassin versant, Ingénierie, EAT, n°22.

MACARY F et PAULAIS J., 2003 - Méthode d'identification de zones prédisposées aux émissions et aux transferts particulaires. Application à une zone d'élevage bovin intensif dans le bocage Sud Manche. Ingénierie, n°36 décembre 2003.

MOQUET A., BIENAIME E., BENOIT M., MIGNOLET C., 2004 - Spatialisation de la sensibilité à l'érosion du bassin de la Blaise. INRA Mirecourt.

MORSCHER J., 2004- Une méthode de cartographie du risque érosif : application aux collines du Terrefort lauragais. UMR 6012 ESPACE, équipe gestion et valorisation de l'environnement.

SOUCHERE V., 1995 - Modélisation spatiale du ruissellement à des fins d'aménagement contre l'érosion des talwegs. Application à des petits bassins versants en Pays de Caux (Haute Normandie). Thèse de docteur de l'INA-PG.

VAN CAMP L. *et al.*, 2004- Report of the technical working groups established under the thematic strategy for soil protection. Volume III : organic matter.

Liste non exhaustive des sites web traitant du ruissellement et de l'érosion

<http://www.fao.org//docrep/T1765F/t1765f0h.htm>

<http://rea.ei.jrc.it/netshare/grimm/erosion/inra/europe/Dictionary.html>

<http://mappemonde.mgm.fr/num4/articles/art04404.html>

<http://www.cemagref.fr/informations/DossiersThematiquesOld/dossierrisquesnaturels/publications/publication6.htm>

<http://www.inrs-ete.quebec.ca/activites/modeles/gibsi/francais/simulation.htm>

http://www.lthe.hmg.inpg.fr/P2H/Ruissellement_erosion.htm

<http://www.u-picardie.fr/beauchamp/duer/bussiere/bussiere.htm>

http://www.agri02.com/pages/Dossier/dossier_detail.php?IdD=50

<http://www.arenh.asso.fr/soleteau/p3a.htm>

<http://www.gov.on.ca/OMAFRA/french/engineer/facts/89-064.htm>

<http://www.geru.ucl.ac.be/recherche/projets/erosion/>

http://www.univ-st-etienne.fr/gfg/revue/08_Hauchard_et_al.pdf

http://www.agr.gc.ca/cal/epub/1772f/1772-0003_f.html

http://www.enviroaccess.ca/pages/verdeaux_fr.html

http://www.west-vlaanderen.be/leefomgeving/mesam/Frans/fr_projet.htm

http://europa.eu.int/comm/agriculture/envir/report/fr/inter_fr/report.htm

<http://www.pdc.chambagri.fr/erosion/Fiche%20simplifi%C3%A9e.pdf>

Liste non exhaustive de partenaires pour l'étude de l'aléa érosion :

<http://www.ifen.fr/>

<http://www.orleans.inra.fr/>

<http://www.brgm.fr/>

<http://www.sisyphes.jussieu.fr/internet/piren/>

<http://www.soilerosion.net/cost634/>

ANNEXES

Annexe1 : Liste des personnes contactées

Annexe 2 : Les départements du Bassin Seine Normandie

02 Aisne
08 Ardennes
10 Aube
14 Calvados
21 Côte d'Or
27 Eure
28 Eure et Loir
35 Ille et Vilaine
45 Loiret
50 Manche
51 Marne
52 Haute-Marne
53 Mayenne
54 Meurthe et Moselle
55 Meuse
58 Nièvre
60 Oise
61 Orne
71 Saône et Loire
75 Paris
76 Seine Maritime
77 Seine et Marne
78 Yvelines
80 Somme
88 Vosges
89 Yonne
91 Essonne
92 Hauts de Seine
93 Seine Saint-Denis
94 Val de Marne
95 Val d'Oise

Annexe 3 : Extrait de la loi Barnier

Commissions départementales et schémas de prévention des risques naturels majeurs

Art. L. 565-1. - Il est institué dans chaque département une commission départementale des risques naturels majeurs.

Cette commission présidée par le préfet comprend en nombre égal :

1. Des représentants élus des collectivités territoriales, des établissements publics de coopération intercommunale et des établissements publics territoriaux de bassin situés en tout ou partie dans le département
2. Des représentants d'organisations professionnelles dont un représentant des organisations d'exploitants agricoles, un représentant des organismes consulaires, un représentant des assurances, un représentant des notaires, des représentants d'associations, dont un représentant d'associations de sinistrés lorsque de telles associations existent, des représentants de la propriété foncière et forestière et des personnalités qualifiées, dont un représentant de la presse écrite ou audiovisuelle locale
3. Des représentants des administrations, notamment l'inspection d'académie et les services de secours, ainsi que des établissements publics de l'État concernés.

Cette commission donne notamment un avis sur :

- a) Les actions à mener pour développer la connaissance des risques, et notamment les programmes de sensibilisation des maires à la prévention des risques naturels
- b) Les documents d'information sur les risques élaborés en application de l'article L. 125-2
- c) La délimitation des zones d'érosion et les programmes d'action correspondants ainsi que leur application, définis dans les conditions prévues par l'article L. 114-1 du code rural
- d) La délimitation des zones de rétention temporaire des eaux de crue ou de ruissellement ou des zones de mobilité d'un cours d'eau visées à l'article L. 211-12, ainsi que les obligations des propriétaires et des exploitants en résultant
- e) La programmation, la conception, la mise en oeuvre et l'actualisation des plans de prévention des risques naturels prévisibles
- f) La nature et le montant prévisionnel des aides aux travaux permettant de réduire le risque
- g) Les expropriations pour cause de risque naturel majeur
- h) Un rapport, établi par le préfet, sur les autres utilisations du fonds de prévention des risques naturels majeurs
- i) Les retours d'expériences suite à catastrophes.

Elle est informée annuellement des demandes de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle.

Elle est habilitée à donner un avis sur tout rapport, programme ou projet ayant trait à la prévention ou à la gestion des risques naturels qui lui est soumis par le préfet.

Elle peut également être saisie par le préfet de toute réflexion sur l'impact des servitudes instituées en application de l'article L. 211-12 sur le développement durable de l'espace rural concerné.

Annexe 4 : Extrait de la loi du 30 juillet 2003

Titre II : Risques naturels

Chapitre I : Information

Article 38 de la loi du 30 juillet 2003

Dans l'article L. 562-3 du code de l'environnement, après les mots : " enquête publique ", sont insérés les mots : " menée dans les conditions prévues aux articles L. 123-1 et suivants. "

Article 39 de la loi du 30 juillet 2003

L'article L. 562-3 du code de l'environnement est complété par une phrase ainsi rédigée :

" Au cours de cette enquête, sont entendus, après avis de leur conseil municipal, les maires des communes sur le territoire desquelles le plan doit s'appliquer. "

Article 40 de la loi du 30 juillet 2003

Après le premier alinéa de l'article L. 125-2 du code de l'environnement, il est inséré un alinéa ainsi rédigé :

" Dans les communes sur le territoire desquelles a été prescrit ou approuvé un plan de prévention des risques naturels prévisibles, le maire informe la population au moins une fois tous les deux ans, par des réunions publiques communales ou tout autre moyen approprié, sur les caractéristiques du ou des risques naturels connus dans la commune, les mesures de prévention et de sauvegarde possibles, les dispositions du plan, les modalités d'alerte, l'organisation des secours, les mesures prises par la commune pour gérer le risque, ainsi que sur les garanties prévues à l'article L. 125-1 du code des assurances. Cette information est délivrée avec l'assistance des services de l'Etat compétents, à partir des éléments portés à la connaissance du maire par le représentant de l'Etat dans le département, lorsqu'elle est notamment relative aux mesures prises en application de la loi n° 87-565 du 22 juillet 1987 relative à l'organisation de la sécurité civile, à la protection de la forêt contre l'incendie et à la prévention des risques majeurs et ne porte pas sur les mesures mises en œuvre par le maire en application de l'article L. 2212-2 du code général des collectivités territoriales. "

Article 41 de la loi du 30 juillet 2003

Le titre VI du livre V du code de l'environnement est complété par un chapitre IV ainsi rédigé :

" Chapitre IV : Prévision des crues

" Art. L. 564-1. - L'organisation de la surveillance, de la prévision et de la transmission de l'information sur les crues est assurée par l'Etat.

" Art. L. 564-2. - I. - Un schéma directeur de prévision des crues est arrêté pour chaque bassin par le préfet coordonnateur de bassin en vue d'assurer la cohérence des dispositifs que peuvent mettre en place, sous leur responsabilité et pour leurs besoins propres, les collectivités territoriales ou leurs groupements afin de surveiller les crues de certains cours d'eau ou zones estuariennes, avec les dispositifs de l'Etat et de ses établissements publics.

" II. - Les collectivités territoriales ou leurs groupements peuvent accéder gratuitement, pour les besoins du fonctionnement de leurs systèmes de surveillance, aux données recueillies et aux prévisions élaborées grâce aux dispositifs de surveillance mis en place par l'Etat, ses établissements publics et les exploitants d'ouvrages hydrauliques.

" III. - Les informations recueillies et les prévisions élaborées grâce aux dispositifs de surveillance mis en place par les collectivités territoriales ou leurs groupements sont transmises aux autorités détentrices d'un pouvoir de police. Les responsables des équipements ou exploitations susceptibles d'être intéressés par ces informations peuvent y accéder gratuitement.

" Art. L. 564-3. - I. - L'organisation de la surveillance, de la prévision et de la transmission de l'information sur les crues par l'Etat, ses établissements publics et, le cas échéant, les collectivités territoriales ou leurs groupements fait l'objet de règlements arrêtés par le préfet.

" II. - Un décret en Conseil d'Etat précise les modalités de mise en œuvre du présent chapitre. "

Annexe 5 : Extrait des données brutes de pluviométries moyennes

	Période	ID		Moyenne hiver	Moyenne printemps	Moyenne été	Moyenne automne	Moyenne année
RR	1984-2003		1	213,60	170,14	306,29	161,75	212,94
RR	1984-2003		2	218,61	171,16	308,09	162,77	215,16
RR	1984-2003		3	224,11	175,39	311,74	167,44	219,67
RR	1984-2003		4	233,13	178,88	320,07	169,73	225,45
RR	1984-2003		5	242,80	182,54	327,63	172,82	231,45
RR	1984-2003		6	247,73	181,47	330,59	173,69	233,37
RR	1984-2003		7	254,01	184,11	336,52	175,98	237,65
RR	1984-2003		8	249,11	181,66	329,96	175,35	234,02
RR	1984-2003		9	243,95	178,59	321,94	173,48	229,49
RR	1984-2003		10	233,06	175,15	309,54	171,99	222,44
RR	1984-2003		11	232,57	175,09	306,07	174,02	221,94
RR	1984-2003		12	227,26	175,25	301,57	177,97	220,51
RR	1984-2003		13	223,01	174,80	298,08	180,25	219,03
RR	1984-2003		14	217,99	168,49	288,57	179,02	213,52
RR	1984-2003		15	216,30	167,17	284,07	178,22	211,44
RR	1984-2003		16	218,13	170,00	288,84	183,04	215,00
RR	1984-2003		17	213,40	167,20	283,08	178,27	210,49
RR	1984-2003		18	221,65	173,69	291,84	182,35	217,38
RR	1984-2003		19	242,43	185,71	315,47	193,02	234,15
RR	1984-2003		20	250,53	184,03	318,26	194,05	236,72
RR	1984-2003		21	247,69	177,62	309,41	189,22	230,99
RR	1984-2003		22	244,25	171,84	302,15	184,28	225,63
RR	1984-2003		23	250,14	175,94	309,17	184,80	230,01
RR	1984-2003		24	240,73	173,03	297,74	178,16	222,41
RR	1984-2003		25	224,84	167,43	279,95	169,03	210,32
RR	1984-2003		26	221,61	170,10	275,44	169,36	209,13
RR	1984-2003		27	201,75	163,36	253,68	158,93	194,43
RR	1984-2003		28	181,64	157,46	231,29	150,35	180,19
RR	1984-2003		29	166,70	156,38	217,58	144,46	171,28
RR	1984-2003		30	160,83	159,23	214,56	144,38	169,75
RR	1984-2003		31	153,63	155,24	209,21	140,54	164,65
RR	1984-2003		32	149,25	151,53	206,85	138,31	161,48
RR	1984-2003		33	143,97	152,34	203,97	137,77	159,51
RR	1984-2003		34	141,78	155,75	204,31	139,48	160,33
RR	1984-2003		35	140,92	156,10	203,90	137,19	159,53
RR	1984-2003		36	140,38	152,28	198,37	132,32	155,84
RR	1984-2003		37	143,06	156,33	200,21	131,54	157,79
RR	1984-2003		38	152,46	166,76	213,15	138,21	167,64
RR	1984-2003		39	158,19	172,11	219,93	143,07	173,33
RR	1984-2003		40	166,10	177,09	228,71	148,91	180,20
RR	1984-2003		41	177,37	186,43	243,49	159,07	191,59
RR	1984-2003		42	174,04	188,40	237,91	160,87	190,30
RR	1984-2003		43	169,74	183,45	229,34	160,70	185,81
RR	1984-2003		44	171,62	178,45	227,77	159,58	184,36
RR	1984-2003		45	179,66	183,71	241,09	164,40	192,21
RR	1984-2003		46	176,65	187,50	242,53	166,95	193,41
RR	1984-2003		47	175,71	188,02	242,27	166,43	193,11
RR	1984-2003		48	177,93	188,31	244,02	166,96	194,31
RR	1984-2003		49	176,95	190,38	243,67	167,90	194,72
RR	1984-2003		50	172,09	191,61	238,72	167,76	192,54

Annexe 6 : Extrait du géo référencement des données brutes de pluviométrie moyenne

DESCRIPTIO	XX	YY	ID
A79	270000	2200000	1
B79	275000	2200000	2
C79	280000	2200000	3
D79	285000	2200000	4
E79	290000	2200000	5
F79	295000	2200000	6
G79	300000	2200000	7
H79	305000	2200000	8
I79	310000	2200000	9
J79	315000	2200000	10
K79	320000	2200000	11
L79	325000	2200000	12
M79	330000	2200000	13
N79	335000	2200000	14
O79	340000	2200000	15
P79	345000	2200000	16
Q79	350000	2200000	17
R79	355000	2200000	18
S79	360000	2200000	19
T79	365000	2200000	20
U79	370000	2200000	21
V79	375000	2200000	22
W79	380000	2200000	23
X79	385000	2200000	24
Y79	390000	2200000	25
Z79	395000	2200000	26
AA79	400000	2200000	27
AB79	405000	2200000	28
AC79	410000	2200000	29
AD79	415000	2200000	30
AE79	420000	2200000	31
AF79	425000	2200000	32
AG79	430000	2200000	33
AH79	435000	2200000	34
AI79	440000	2200000	35
AJ79	445000	2200000	36
AK79	450000	2200000	37
AL79	455000	2200000	38
AM79	460000	2200000	39
AN79	465000	2200000	40
AO79	470000	2200000	41
AP79	475000	2200000	42
AQ79	480000	2200000	43
AR79	485000	2200000	44
AS79	490000	2200000	45
AT79	495000	2200000	46
AU79	500000	2200000	47
AV79	505000	2200000	48
AW79	510000	2200000	49
AX79	515000	2200000	50

Annexe 7 : Extrait des données de localisation des points de mesures des intensités de pluies

CODE_STAT	X_STAT	Y_STAT
meteo12181	284000.0	2377000.0
meteo12182	292000.0	2377000.0
meteo12183	300000.0	2377000.0
meteo12184	308000.0	2377000.0
meteo12185	316000.0	2377000.0
meteo12186	324000.0	2377000.0
meteo12187	332000.0	2377000.0
meteo12188	340000.0	2377000.0
meteo12189	348000.0	2377000.0
meteo12190	356000.0	2377000.0
meteo12191	364000.0	2377000.0
meteo12192	372000.0	2377000.0
meteo12193	380000.0	2377000.0
meteo12194	388000.0	2377000.0
meteo12195	396000.0	2377000.0
meteo12196	404000.0	2377000.0
meteo12197	412000.0	2377000.0
meteo12198	420000.0	2377000.0
meteo12199	428000.0	2377000.0
meteo12200	436000.0	2377000.0
meteo12201	444000.0	2377000.0
meteo12202	452000.0	2377000.0
meteo12203	460000.0	2377000.0
meteo12204	468000.0	2377000.0
meteo12205	476000.0	2377000.0
meteo12338	284000.0	2385000.0
meteo12339	292000.0	2385000.0
meteo12340	300000.0	2385000.0
meteo12341	308000.0	2385000.0
meteo12342	316000.0	2385000.0
meteo12343	324000.0	2385000.0
meteo12344	332000.0	2385000.0
meteo12345	340000.0	2385000.0

Annexe 8: Extrait des données des intensités journalières de pluie

Date	Pluie
1996/01/01	0.00
1996/01/02	8.30
1996/01/03	0.33
1996/01/04	0.00
1996/01/05	5.20
1996/01/06	5.20
1996/01/07	10.88
1996/01/08	0.80
1996/01/09	5.37
1996/01/10	11.96
1996/01/11	0.57
1996/01/12	8.64
1996/01/13	0.00
1996/01/14	0.00
1996/01/15	0.00
1996/01/16	0.00
1996/01/17	0.00
1996/01/18	0.00
1996/01/19	0.00
1996/01/20	0.00
1996/01/21	0.00
1996/01/22	2.42
1996/01/23	7.07
1996/01/24	0.00
1996/01/25	0.32
1996/01/26	1.58
1996/01/27	0.00
1996/01/28	0.55
1996/01/29	0.83
1996/01/30	0.00
1996/01/31	0.00

Annexe 9 : Extrait des données brutes d'intensités de pluies

CODE_STAT	X_STAT	Y_STAT	PLU_1996_1	PLU_1996_2	PLU_1996_3	PLU_1996_4
meteo12181	284000,0	2377000,0	0	0	0	0
meteo12182	292000,0	2377000,0	0	0	0	0
meteo12183	300000,0	2377000,0	0	0	0	0
meteo12184	308000,0	2377000,0	0	0	0	0
meteo12185	316000,0	2377000,0	0	0	0	0
meteo12186	324000,0	2377000,0	0	0	0	0
meteo12187	332000,0	2377000,0	0	0	0	0
meteo12188	340000,0	2377000,0	0	0	0	0
meteo12189	348000,0	2377000,0	0	0	0	0
meteo12190	356000,0	2377000,0	0	0	0	0
meteo12191	364000,0	2377000,0	0	0	0	0
meteo12192	372000,0	2377000,0	0	0	0	0
meteo12193	380000,0	2377000,0	0	0	0	0
meteo12194	388000,0	2377000,0	0	1	0	0
meteo12195	396000,0	2377000,0	0	1	0	0
meteo12196	404000,0	2377000,0	0	1	0	0
meteo12197	412000,0	2377000,0	0	1	0	0
meteo12198	420000,0	2377000,0	0	1	0	0
meteo12199	428000,0	2377000,0	0	0	0	0
meteo12200	436000,0	2377000,0	0	0	0	0
meteo12201	444000,0	2377000,0	0	0	0	0
meteo12202	452000,0	2377000,0	0	0	0	0
meteo12203	460000,0	2377000,0	0	0	0	0
meteo12204	468000,0	2377000,0	0	0	0	0
meteo12205	476000,0	2377000,0	0	0	0	0
meteo12338	284000,0	2385000,0	0	0	0	0
meteo12339	292000,0	2385000,0	0	0	0	0
meteo12340	300000,0	2385000,0	0	0	0	0
meteo12341	308000,0	2385000,0	0	0	0	0
meteo12342	316000,0	2385000,0	0	0	0	0
meteo12343	324000,0	2385000,0	0	0	0	0
meteo12344	332000,0	2385000,0	0	0	0	0
meteo12345	340000,0	2385000,0	0	0	0	0
meteo12346	348000,0	2385000,0	0	0	0	0
meteo12347	356000,0	2385000,0	0	0	0	0
meteo12348	364000,0	2385000,0	0	0	0	0
meteo12349	372000,0	2385000,0	0	0	0	0
meteo12350	380000,0	2385000,0	0	0	0	0
meteo12351	388000,0	2385000,0	0	1	0	0
meteo12352	396000,0	2385000,0	0	1	0	0
meteo12353	404000,0	2385000,0	0	1	0	0
meteo12354	412000,0	2385000,0	0	1	0	0
meteo12355	420000,0	2385000,0	0	0	0	0
meteo12356	428000,0	2385000,0	0	0	0	0
meteo12357	436000,0	2385000,0	0	0	0	0
meteo12358	444000,0	2385000,0	0	0	0	0
meteo12359	452000,0	2385000,0	0	0	0	0
meteo12360	460000,0	2385000,0	0	0	0	0
meteo12361	468000,0	2385000,0	0	0	0	0

Annexe 10 : extraits de mails avec les directions de secteur pour la validation des cartes de l'aléa érosion :

BOCAGES NORMANDS :

Bonjour,

Il serait intéressant de connaître les classements par critères (érodibilité, pente, pluvio) pour connaître celui qui prévaut dans le classement final.

Par ailleurs, la prise en compte de Corinne land cover 2000 corrige t-elle les insuffisances de la version de 1994 qui minimisait très sensiblement les surfaces en labour en zone de bocages (prise en compte des unités homogènes de plus de 25 ha, non différenciation des prairies temporaire et permanente). A titre d'exemple, sur la Vire suivant la référence, on passe de 17 (COR LA CO 94) à 46 % (RGA2000) de terres arables

Je suis aussi étonné de voir apparaître des ensembles à aléa fort dans les lits majeur aval de certains bassins (Sélune, Sienne) la plaine de Caen est une zone de grande culture et non de polyculture élevage

Je vous adresse par ailleurs pour info une carte synthétique établie par la DIREN de BN sur cette problématique qui diffère sensiblement de votre cartographie sur certains secteurs ; je lui adresse ce message pour connaître son avis et savoir quelle contribution il pourrait apporter

Bien cordialement

Claude Branellec vendredi 12/08/2005

Bonjour,

Ce travail est intéressant et le rendu cartographique « aléa érosion » paraît, dans son ensemble, juste.

Je souhaite le rapprocher des analyses effectuées dans les cours d'eau et en faire profiter les SAGE de l'Orne et la Seulles, où cette problématique est bien sûr prise en compte.

Pouvez vous me fournir le shape correspondant ?

Avec mes remerciements,

Cordialement,

Anne Gouronnec – mercredi 03/08/2005

VALLEES D'OISE :

Bonjour,

Je n'ai eu qu'une carte. Je ne sais comment le risque a été calculé mais

- Une grande partie des communes de l'Aisne sont considérées à risque érosif
- L'amont du bassin de l'Oise a un fort enjeu AEP avec la prise d'eau d'Englancourt.
- La classification en risque mérite un jeu d'explication. Ne doit on pas rajouter le risque coulée de boues ?

J'ai surtout regardé par BV. Ca me paraît OK sauf que je ne sais pas pourquoi la Serre est classée beaucoup plus fort que les autres. Maintenant la méthodologie de définition de l'aléa ne m'inquiète pas.

Voilà pour quelques remarques. Sinon, sera-t-il possible d'avoir les couches SIG à terme ?

Merci

Pascale Mercier vendredi 05/08/2005

SEINE AMONT :

Bonjour,

Merci pour les dernières cartes que je trouve déjà plus cohérentes désormais...

Seulement reste une zone et un risque d'érosion que j'ai oublié de te signaler dans mes mails précédents : il s'agit des risques d'érosion liés aux cultures de sapins de Noël et aux coupes franches sylvicoles en secteur du Morvan.

Pour confirmer et préciser je t'invite à contacter Vincent Houis du PNRM spécialisé production de sapin et pb liés (très rapidement par tél. au moins ce vendredi car Vincent part en congés vendredi) :

Vincent Houis : tel 03 86 78 79 81
vincent.houis@parcdumorvan.org

Blandine PILLET jeudi 04/08/2005

Merci Arnaud,

Voici donc le résultat du travail de validation par la DSAm de l'identification des secteurs à aléas érosion et des mesures à prendre.

C'est le résultat d'un travail de groupe avec : Benoit Massa, Sophie Morvannic, Anne Sophie Suisse et moi-même.

Identification des secteurs à aléas érosion :

Nous avons repris masse d'eau par masse d'eau, Bassin Sageable par Bassin Sageable, pour confirmer ou invalider ton classement (noir-orange-vert.. sur la carte, en n° dans le tableau). Tu trouveras ci-joint ton tableau excel : j'ai du le reclasser par Bassin Sageable pour m'y retrouver.

Regarde surtout la colonne « aléas par la DSAm » : c'est la classe dans laquelle nous mettons la ME. .. il te faudra revoir la carte avec ce tab. ..

La colonne « pourquoi », je te la rempli à mon retour la semaine prochaine.

Identification des mesures à prendre :

D'abord, pour les typologies, pourquoi faire une distinction entre « polyculture élevage automne hiver » et « polyculture élevage tte l'année » ?

Pour la DSAm, compte tenu de la diversité de notre agriculture peut-être (du vignoble à l'élevage en passant par les grandes cultures) cette distinction ne se justifie pas plus que ça. En polyculture élevage, dans les deux cas, la gestion se fait bien à l'échelle d'une campagne culturale.

Ensuite, les mesures qui sont listées dans ta note ne sont pas complètes, pas suffisantes. Si on veut un effet sur l'eau, il ne faudra pas se limiter à aider seulement celles que tu as écrites dans ta note (je suppose que tu n'as pas détaillé car ce n'était pas l'objet de ton stage peut-être, mais précisons ça car c'est important). Tu trouveras en note jointe les autres mesures qu'ils seraient bien de soutenir.

Blandine PILLET Mercredi 24/08/05

SEINE AVAL :

Bonjour,

Ce serait bien de nous préciser comment sont calculés les risques (quelles données, quelle méthode...). Sinon, je suis étonné de voir le bassin versant de la Lézarde avec un aléa inférieur à ceux des bassins voisins (idem pour BV Commerce et Veule). Etonné aussi de ne pas voir apparaître plus de risque sur le SYDAR (Roumois) qui présente pas mal de problèmes de turbidités de captages, d'où ma première question.

Cordialement

Cédric de RANSART Mardi 16/08/2005

VALLEES DE MARNE :**AGENCE DE L'EAU SEINE-NORMANDIE****DIRECTION VALLEES DE MARNE**

1	<i>Michel ROULIER</i>	NOTE	3	<i>MR</i>
2	<i>Thierry CHAPPAT Magali ROBIN Béatrice COLIN SIG_DERA</i>	5 ALEA EROSION	4	<i>21 juillet 2005</i>

1 expéditeur - 2 destinataire - 3 référence - 4 date - 5 objet

En réponse au mail de SIG_DERA du 11/8/05

Quelques éléments de réflexion, l'avis officiel DVM étant du ressort de nos spécialistes locaux.

Carte "Aléa érosion intégré par bassin versant"

Prise en compte de travaux antérieurs DVM.

J'ai recherché, sans succès jusqu'à aujourd'hui, des cartes sur les risques d'érosion ou les constats d'érosion. Pourtant, elles existent en DVM, et vraisemblablement Guy VENAULT en était l'auteur. MDM doit aussi s'en souvenir.

Travaux préparatoires du SDAGE Groupe Marne de 92 à 96 : pas de cartes dans les documents diffusés. Reste à chercher dans les archives des travaux préparatoires des groupes thématiques et des contributions diverses.

Paquette Marne : pas de carte.

Contrats d'objectifs, contrats territoriaux : à vérifier, mais il ne doit pas y avoir de cartes sur ce sujet.

Et pourtant, j'en ai vu une il y a quelques années !

Prise en compte de travaux antérieurs AESN

A noter la carte de l'état des lieux officiel, carte 18 p 41, reprise dans le document de consultation de septembre 2004 (fiche 6A, p25), visiblement basée sur des limites communales, donc plus précise.

Prise en compte d'autres travaux antérieurs

De mémoire, il y a ~10 ans, le **BRGM** a réalisé une carte des risques d'érosion sur le vignoble, avec l'outil SIG, pour le compte du CIVC.

Le ROM, mis au point par le **CSP**, cite très souvent le colmatage des fonds par les rejets et les ruissellements agricoles. Il est certainement possible de synthétiser ces infos par contexte et masses d'eau, pour les hiérarchiser.

L'exploitation des données MES du réseau RNB ou autres ne donnera rien (cf carte jointe, avec les critères de la circulaire de juillet 2005 en MES pour la physico-chimie). Peut-être des infos du côté du PIREN et de SEQUAMET sur les transports de matières solides. Par ailleurs, diverses simulations du PIREN sur l'évolution du phosphore sur la bassin Marne mettent en évidence, en moyenne, que le phosphore provient maintenant pour moitié des apports diffus. Et quand on sait l'importance des rejets traités sur l'aval du bassin, on peut en déduire que sur l'amont, la proportion du diffus est supérieure.

Je crois que le **vignoble** est à identifier en tant que tel, même si il ne représente qu'une partie mineure de la surface d'un bv masse d'eau. En effet, l'approche bv masse d'eau risque de moyenniser aussi des impacts ponctuellement très importants et sur lesquels il est possible, voire nécessaire d'agir (en les citant dans le programme de mesures ou le SDAGE par exemple).

Arrêtons avec les limites des directions de secteurs toujours fausses sur ces cartes !

Ce travail scientifique doit se baser sur les grands bassins versants, auxquels on superpose la RIF.

Sinon toutes les autres méthodes donnent des cartes incomplètes ou fausses. Ex : limite de district à l'est basées sur les communes, limites actuelles SN basées sur les cantons, et joyeux mélanges de tout ceci...

Carte "Typologieet moyens de lutte envisagés"

On retrouve ici les masses d'eau Moivre (?), Guenelle (?).

Pour le Fion, il y a un peu de vignoble. Pour la Coole c'est un peu surprenant ! Il y a aussi l'aval de la Blaise (R117). A justifier précisément (avec des confirmations par le ROM ?).

L'aval, je connais moins.

Mais ces infos obligent aussi à un nouveau regard sur le risque, et on peut enclencher des recherches supplémentaires de confirmation sur ces zones.

Malgré tout, il ne faut pas oublier de bien mettre en avant, sans se tromper, ce qui nuit à la bonne qualité écologique, et parmi les actions correctrices, celles susceptibles d'avoir des effets sur le bon état écologique en 2015, qui sont prioritaires.

"Carte des risques ... protection de l'eau"

Les zones d'actions prioritaires définies sur le critère eau présentées n'apparaissent pas choquantes, mais très vraisemblablement des zones plus petites et très atteintes sont occultées (par moyennage surfacique) par la méthode. Or, il faudra bien très prochainement travailler aussi, comme l'Europe le demande, sur les masses d'eau petit cours d'eau dont le bv fait plus de 10 km².

Et présenter en blanc les zones à risque nul ou non renseigné doit s'accompagner de propositions de travail pour réduire la 2^{ème} catégorie.

Il est vrai aussi que la problématique protection des biens et des personnes (coulées de boues) à surtout été l'argument par le passé.

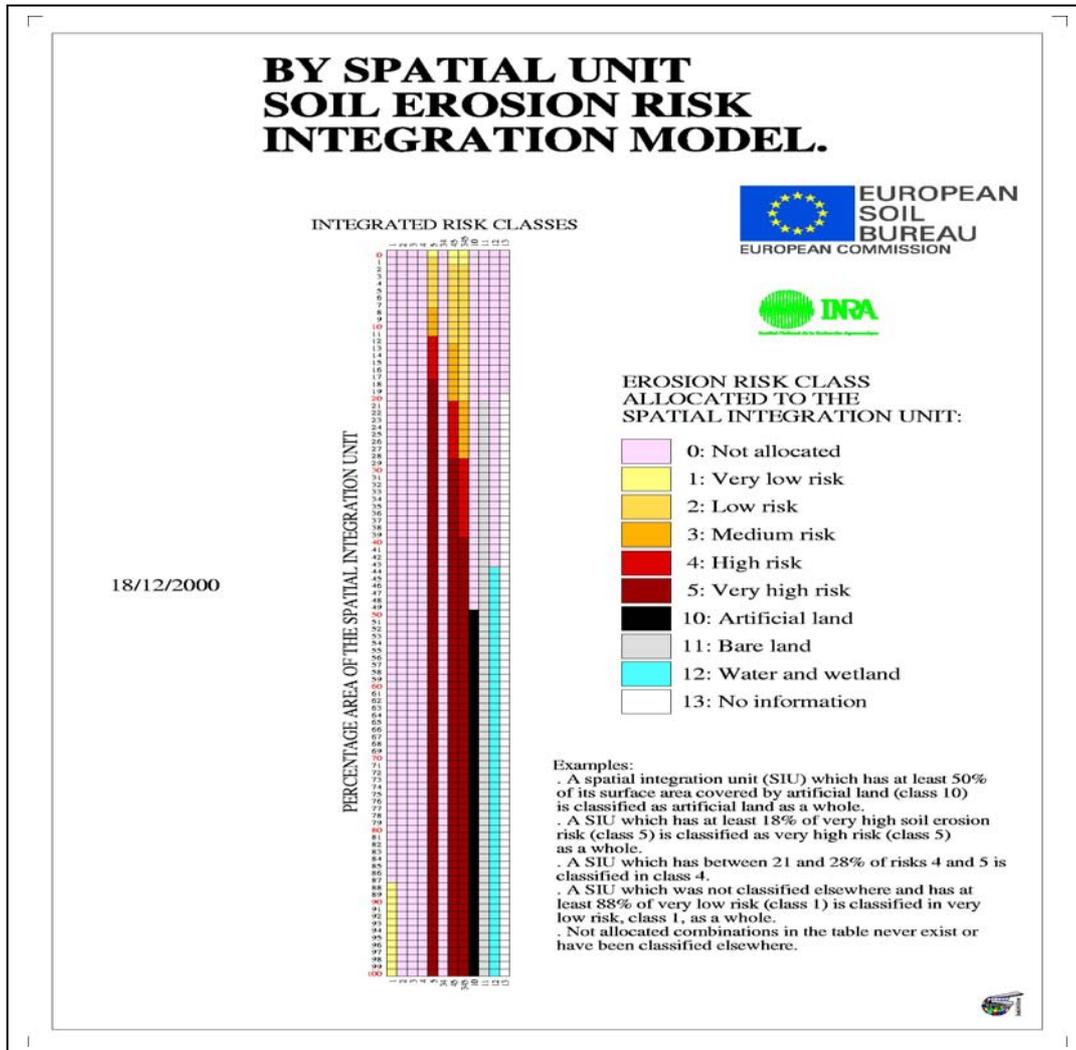
RIVIERES D'ILE DE FRANCE :

Pas de retour.

Annexe 11 : tableau de croisement des paramètres retenus pour le modèle [d'après Joel DAROUSSIN]

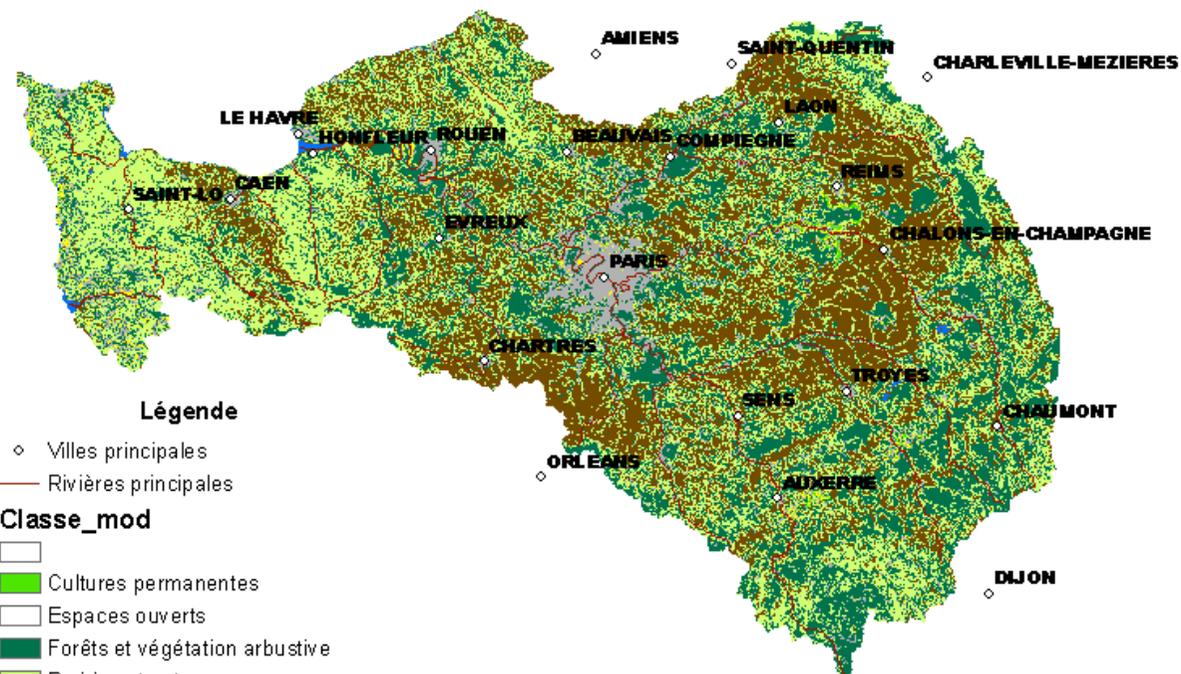
LAND USE	CRUSTING	SLOPE	ERODIBILITY	RISK - SENSITIVITY					
				Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	
ARABLE LAND	0	0-5	1-2	0	0	0	0	0	
		5-15	3-4	1	1	1	1	2	
		>15	5	1	1	2	2	3	
		1	0-2	1-2	2	2	3	3	4
			2-5	3-4	2	3	4	4	4
	5-10		5	1	1	1	2	2	
	>10		1-2	1	1	2	2	3	
	3-4		3-4	1	2	2	3	3	
	2	0-2	1-2	2	2	3	3	4	
		2-5	3-4	2	3	4	4	4	
		5-10	5	3	3	4	4	5	
		>10	1-2	2	2	3	3	4	
		3-4	3-4	2	3	3	4	4	
	3	0-2	1-2	3	3	4	4	4	
		2-5	3-4	3	4	4	4	5	
		5-10	5	3	3	4	4	4	
		>10	1-2	2	2	3	3	4	
		3-4	3-4	3	4	4	4	5	
	4	0-1	1-2	3	3	4	4	4	
		1-2	3-4	3	4	4	4	5	
>5		1-2	3	4	4	4	5		
5		0-1	1-2	1	1	2	2	2	
		>2	1-2-3	3	3	4	4	5	
PERMANENT CROPS	0	0-5	1-2	0	0	0	0	0	
		5-15	3-4	1	1	1	1	2	
		>15	5	1	1	2	2	3	
		1-2	0-2	1-2	2	2	3	3	4
			2-5	3-4	2	3	4	4	4
	5-10		5	1	1	1	2	2	
	>10		1-2	1	1	2	2	3	
	3-4		3-4	1	2	2	3	3	
	3-4	0-2	1-2	2	2	3	3	4	
		2-5	3-4	2	3	4	4	4	
		5-10	5	3	3	4	4	5	
		>10	1-2	2	2	3	3	4	
		3-4	3-4	3	4	4	4	5	
	5	0-2	1-2	3	4	4	4	5	
		2-5	3-4	3	4	4	4	5	
		>5	1-2-3	3	4	4	4	5	
		5	0-2	1-2	1	1	2	2	2
			>5	1-2-3	3	3	4	4	5
	HETEROGENEOUS AGRICULTURAL LAND	0	0-10	1-2	0	0	0	0	0
			10-30	3-4	1	1	1	1	2
>30			5	1	1	2	2	3	
1-2			0-5	1-2-3	2	2	3	3	4
			5-15	4-5	2	3	3	4	4
		>15	1-2	1	1	1	2	2	
		3-4	3-4	1	2	2	3	3	
		5	5	2	2	3	3	4	
3-4		0-2	1-2	2	2	3	3	4	
		2-5	3-4	2	3	4	4	4	
		5-15	5	3	3	4	4	5	
		>15	1-2	2	2	3	3	4	
		3-4	3-4	2	3	3	4	4	
5		0-2	1-2-3	1	1	1	2	2	
		2-5	4-5	2	2	3	3	4	
		5-15	1-2	1	1	2	2	3	
		>15	3-4	2	2	3	3	4	
		5	5	3	3	4	4	5	
5		0-2	1-2-3	3	3	4	4	4	
		2-5	4-5	3	4	4	4	5	
	5-15	1-2	2	2	3	3	4		
	>15	3-4	2	2	3	3	4		
	5	5	3	3	4	4	5		
5	0-2	1-2-3	3	3	4	4	4		
	2-5	4-5	3	4	4	4	5		
	5-15	1-2	2	2	3	3	4		
	>15	3-4	2	2	3	3	4		
	5	5	3	3	4	4	5		
5	0-2	1-2-3	3	3	4	4	4		
	2-5	4-5	3	4	4	4	5		
	5-15	1-2	2	2	3	3	4		
	>15	3-4	2	2	3	3	4		
	5	5	3	3	4	4	5		
5	0-2	1-2-3	3	3	4	4	4		
	2-5	4-5	3	4	4	4	5		
	5-15	1-2	2	2	3	3	4		
	>15	3-4	2	2	3	3	4		
	5	5	3	3	4	4	5		
5	0-2	1-2-3	3	3	4	4	4		
	2-5	4-5	3	4	4	4	5		
	5-15	1-2	2	2	3	3	4		
	>15	3-4	2	2	3	3	4		
	5	5	3	3	4	4	5		
5	0-2	1-2-3	3	3	4	4	4		
	2-5	4-5	3	4	4	4	5		
	5-15	1-2	2	2	3	3	4		
	>15	3-4	2	2	3	3	4		
	5	5	3	3	4	4	5		
5	0-2	1-2-3	3	3	4	4	4		
	2-5	4-5	3	4	4	4	5		
	5-15	1-2	2	2	3	3	4		
	>15	3-4	2	2	3	3	4		
	5	5	3	3	4	4	5		
5	0-2	1-2-3	3	3	4	4	4		
	2-5	4-5	3	4	4	4	5		
	5-15	1-2	2	2	3	3	4		
	>15	3-4	2	2	3	3	4		
	5	5	3	3	4	4	5		
5	0-2	1-2-3	3	3	4	4	4		
	2-5	4-5	3	4	4	4	5		
	5-15	1-2	2	2	3	3	4		
	>15	3-4	2	2	3	3	4		
	5	5	3	3	4	4	5		
5	0-2	1-2-3	3	3	4	4	4		
	2-5	4-5	3	4	4	4	5		
	5-15	1-2	2	2	3	3	4		
	>15	3-4	2	2	3	3	4		
	5	5	3	3	4	4	5		
5	0-2	1-2-3	3	3	4	4	4		
	2-5	4-5	3	4	4	4	5		
	5-15	1-2	2	2	3	3	4		
	>15	3-4	2	2	3	3	4		
	5	5	3	3	4	4	5		
5	0-2	1-2-3	3	3	4	4	4		
	2-5	4-5	3	4	4	4	5		
	5-15	1-2	2	2	3	3	4		
	>15	3-4	2	2	3	3	4		
	5	5	3	3	4	4	5		
5	0-2	1-2-3	3	3	4	4	4		
	2-5	4-5	3	4	4	4	5		
	5-15	1-2	2	2	3	3	4		
	>15	3-4	2	2	3	3	4		
	5	5	3	3	4	4	5		
5	0-2	1-2-3	3	3	4	4	4		
	2-5	4-5	3	4	4	4	5		
	5-15	1-2	2	2	3	3	4		
	>15	3-4	2	2	3	3	4		
	5	5	3	3	4	4	5		
5	0-2	1-2-3	3	3	4	4	4		
	2-5	4-5	3	4	4	4	5		
	5-15	1-2	2	2	3	3	4		
	>15	3-4	2	2	3	3	4		
	5	5	3	3	4	4	5		
5	0-2	1-2-3	3	3	4	4	4		
	2-5	4-5	3	4	4	4	5		
	5-15	1-2	2	2	3	3	4		
	>15	3-4	2	2	3	3	4		
	5	5	3	3	4	4	5		
5	0-2	1-2-3	3	3	4	4	4		
	2-5	4-5	3	4	4	4	5		
	5-15	1-2	2	2	3	3	4		
	>15	3-4	2	2	3	3	4		
	5	5	3	3	4	4	5		
5	0-2	1-2-3	3	3	4	4	4		
	2-5	4-5	3	4	4	4	5		
	5-15	1-2	2	2	3	3	4		
	>15	3-4	2	2	3	3	4		
	5	5	3	3	4	4	5		
5	0-2	1-2-3	3	3	4	4	4		
	2-5	4-5	3	4	4	4	5		
	5-15	1-2	2	2	3	3	4		
	>15	3-4	2	2	3	3	4		
	5	5	3	3	4	4	5		
5	0-2	1-2-3	3	3	4	4	4		
	2-5	4-5	3	4	4	4	5		
	5-15	1-2	2	2	3	3	4		
	>15	3-4	2	2	3	3	4		
	5	5	3	3	4	4	5		
5	0-2	1-2-3	3	3	4	4	4		
	2-5	4-5	3	4	4	4	5		
	5-15	1-2	2	2	3	3	4		
	>15	3-4	2	2	3	3	4		
	5	5	3	3	4	4	5		
5	0-2	1-2-3	3	3	4	4	4		
	2-5	4-5	3	4	4	4	5		
	5-15	1-2	2	2	3	3	4		
	>15	3-4	2	2	3	3	4		
	5	5	3	3	4	4	5		
5	0-2	1-2-3	3	3	4	4	4		
	2-5	4-5	3	4	4	4	5		
	5-15	1-2	2	2	3	3	4		
	>15	3-4	2	2	3	3	4		
	5	5	3	3	4	4	5		
5	0-2	1-2-3	3	3	4	4	4		
	2-5	4-5	3	4	4	4	5		
	5-15	1-2	2	2	3	3	4		
	>15	3-4	2	2	3	3	4		
	5	5	3	3	4	4	5		
5	0-2	1-2-3	3	3	4	4	4		
	2-5	4-5	3	4	4	4	5		
	5-15	1-2	2	2	3	3	4		
	>15	3-4	2	2	3	3	4		
	5	5	3	3	4	4	5		
5	0-2	1-2-3	3	3	4	4	4		
	2-5	4-5	3	4	4	4	5		
	5-15	1-2	2	2	3	3	4		
	>15	3-4	2	2	3	3	4		
	5	5	3	3	4	4	5		
5	0-2	1-2-3	3	3	4	4	4		
	2-5	4-5	3	4	4	4	5		
	5-15	1-2	2	2	3	3	4		
	>15	3-4	2	2	3	3	4		
	5	5	3	3	4	4	5		
5	0-2	1-2-3	3	3	4	4	4		
	2-5	4-5	3	4	4	4	5		
	5-15	1-2	2	2	3	3	4		
	>15	3-4	2	2	3	3	4		
	5	5	3	3	4	4	5		
5	0-2	1-2-3	3	3	4	4	4		
	2-5	4-5	3	4	4	4	5		
	5-15	1-2	2	2	3	3	4		
	>15	3-4	2	2	3	3	4		
	5	5	3	3	4	4	5		
5	0-2	1-2-3	3	3	4	4	4		
	2-5	4-5	3	4	4	4	5		

Annexe 12 : représentation en diagramme de la table i-model d'intégration spatiale de la sensibilité des sols à l'érosion ou bien de l'aléa d'érosion des sols par unité spatiale de prise de décision ou bien de fonctionnement. [d'après Joël DAROUSSIN].



Annexe 13 : Cartes ayant servies pour la détermination de l'aléa érosion sur le Bassin Seine Normandie

Occupation du sol du bassin Seine Normandie déterminées à partir de Corin Land Cover 2000



Légende

- ◇ Villes principales
- Rivières principales

Classe_mod

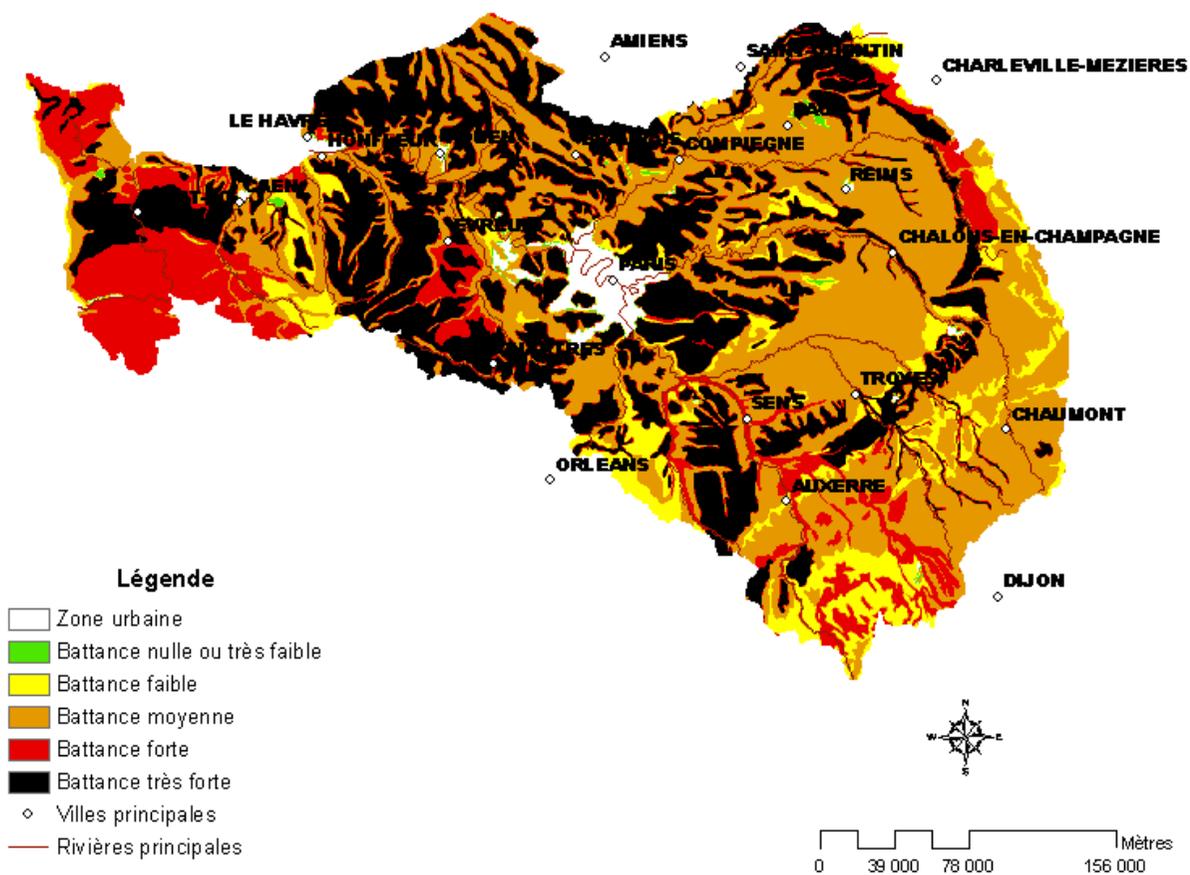
-
- Cultures permanentes
- Espaces ouverts
- Forêts et végétation arbustive
- Prairies et pâturages
- Terres arables
- Territoires artificialisés
- Zones agricoles hétérogènes
- Zones humides et surfaces en eau
- Zones naturelles dégradées



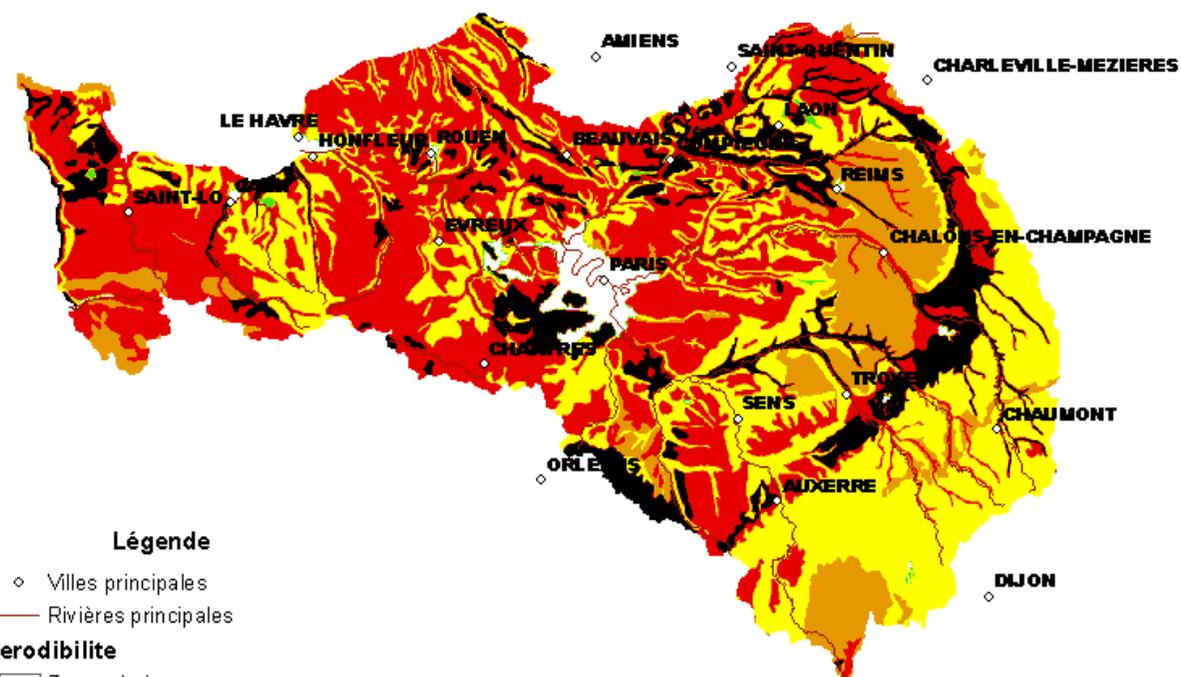
0 39 000 78 000 156 000 Mètres

2005

Battance des sols du bassin Seine Normandie [Carte pédologique 1000 000° données fournies par l'INRA d'Orléans]



Erodibilité des sols du bassin Seine Normandie [Carte pédologique 1000 000° données fournies par l'INRA d'Orléans]



Légende

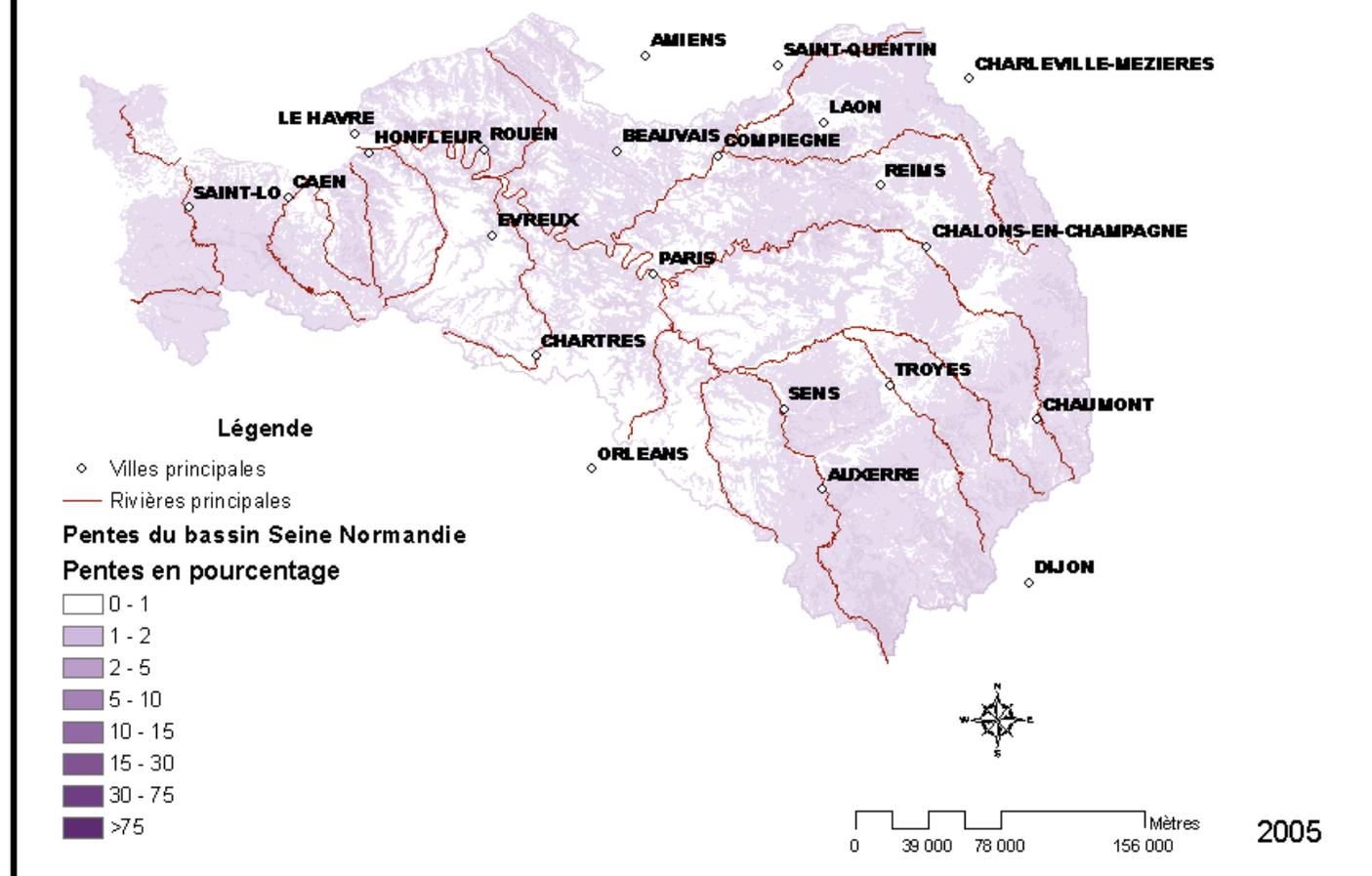
- ◇ Villes principales
 - Rivières principales
- erodibilite**
- Zone urbaine
 - Erodibilité nulle ou très faible
 - Erodibilité faible
 - Erodibilité moyenne
 - Erodibilité forte
 - Erodibilité très forte

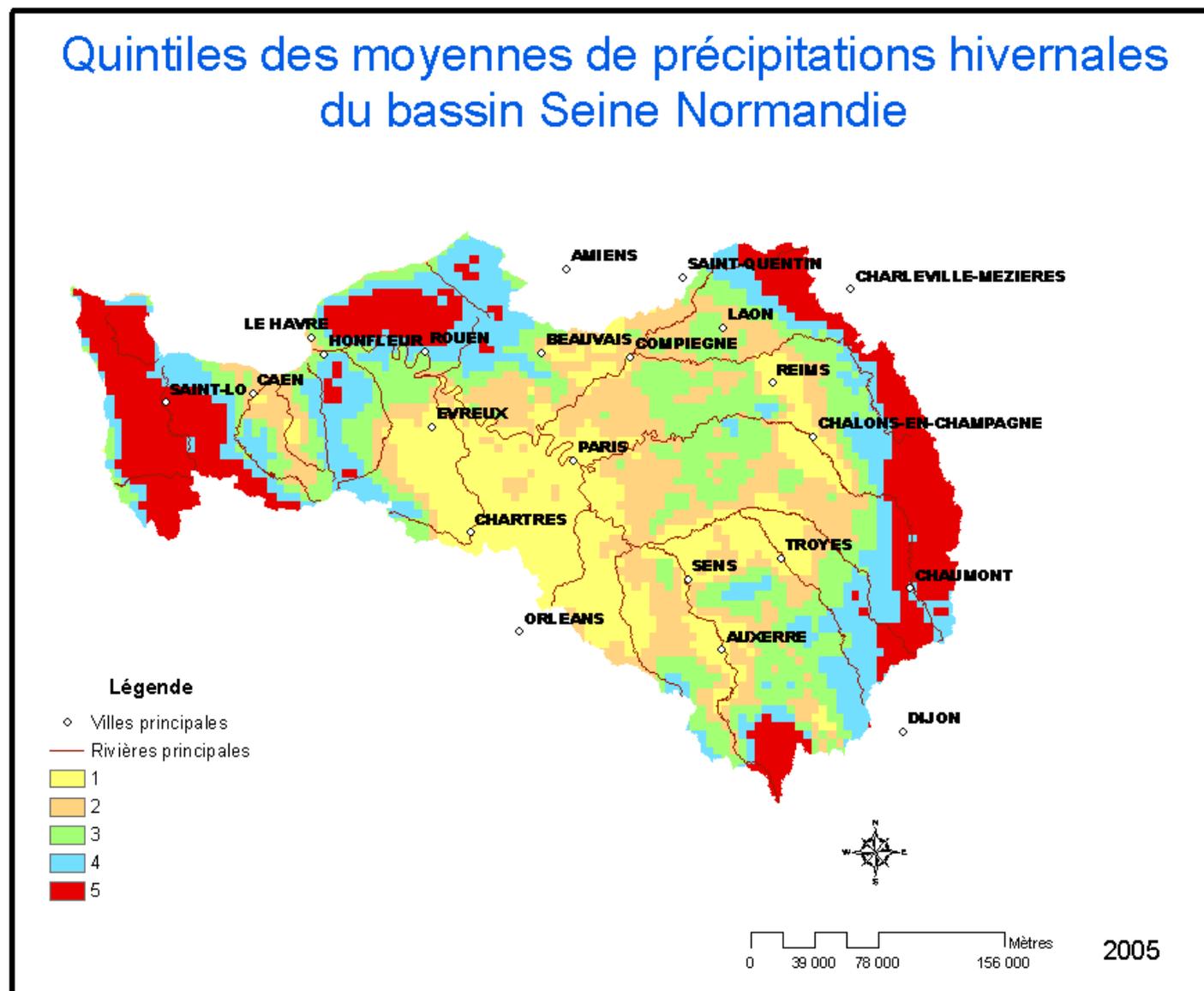


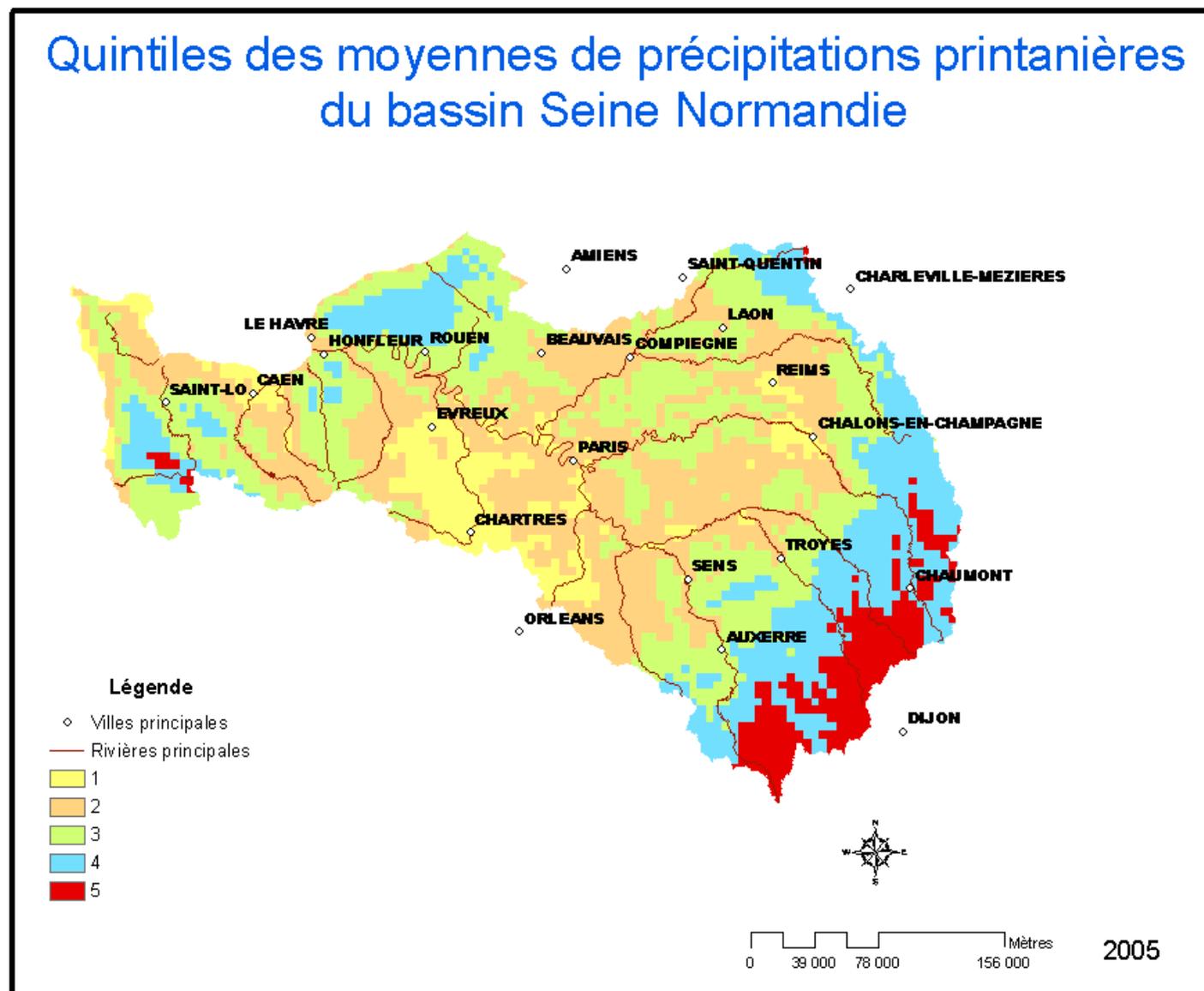
0 39 000 78 000 156 000 Mètres

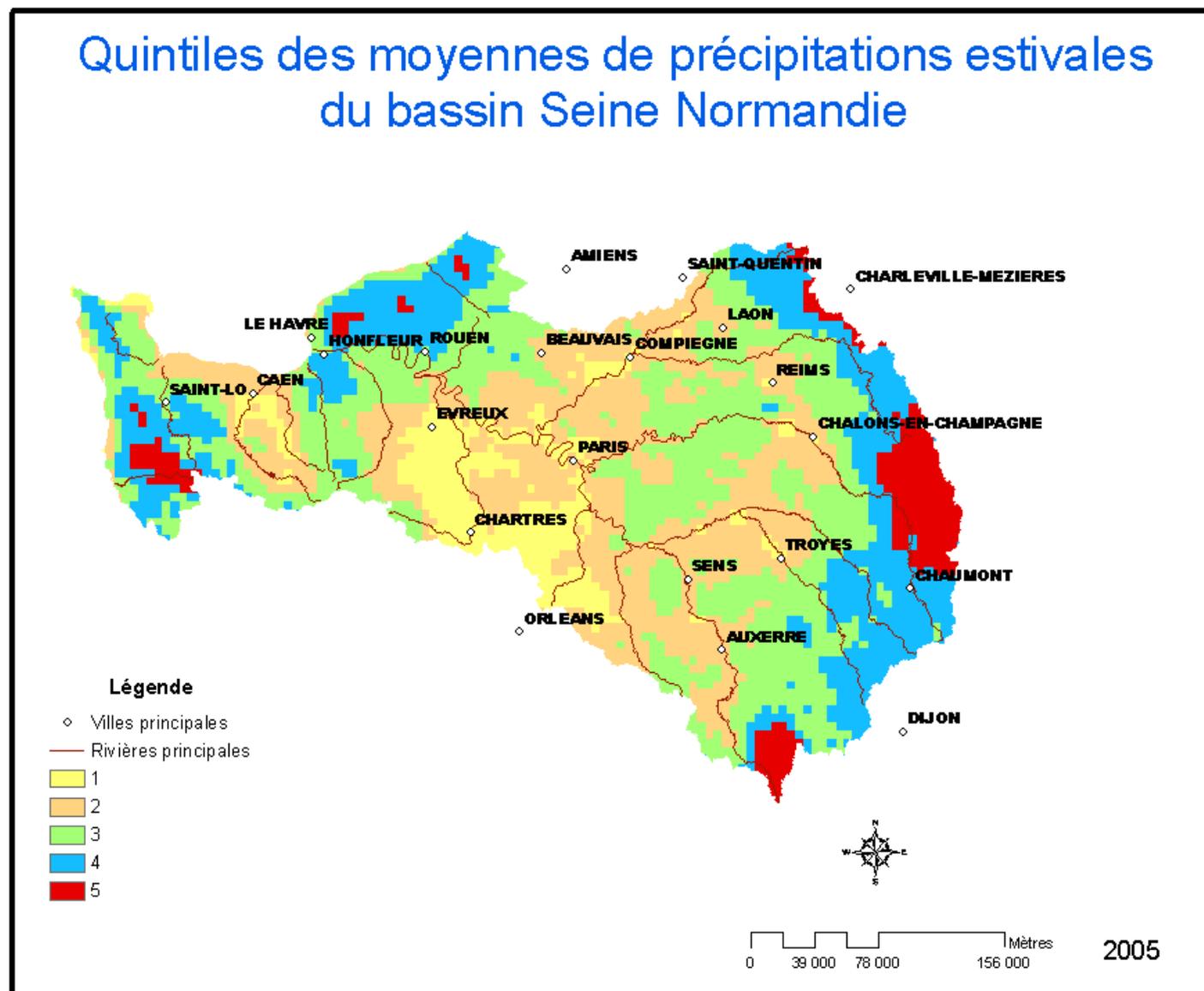
2005

Pentes sur le bassin Seine Normandie déterminées à partir du MNT au pas de 100 mètres

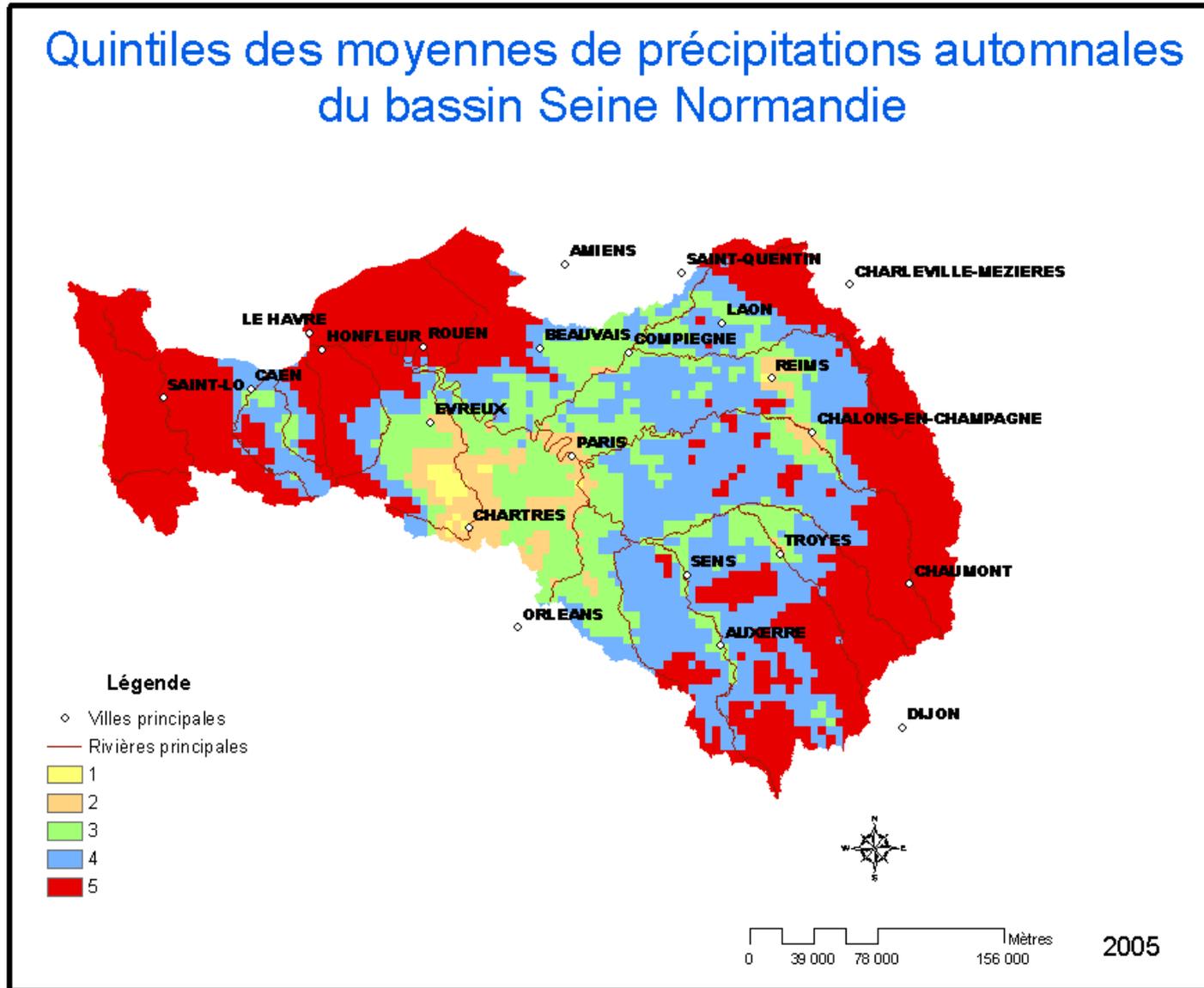


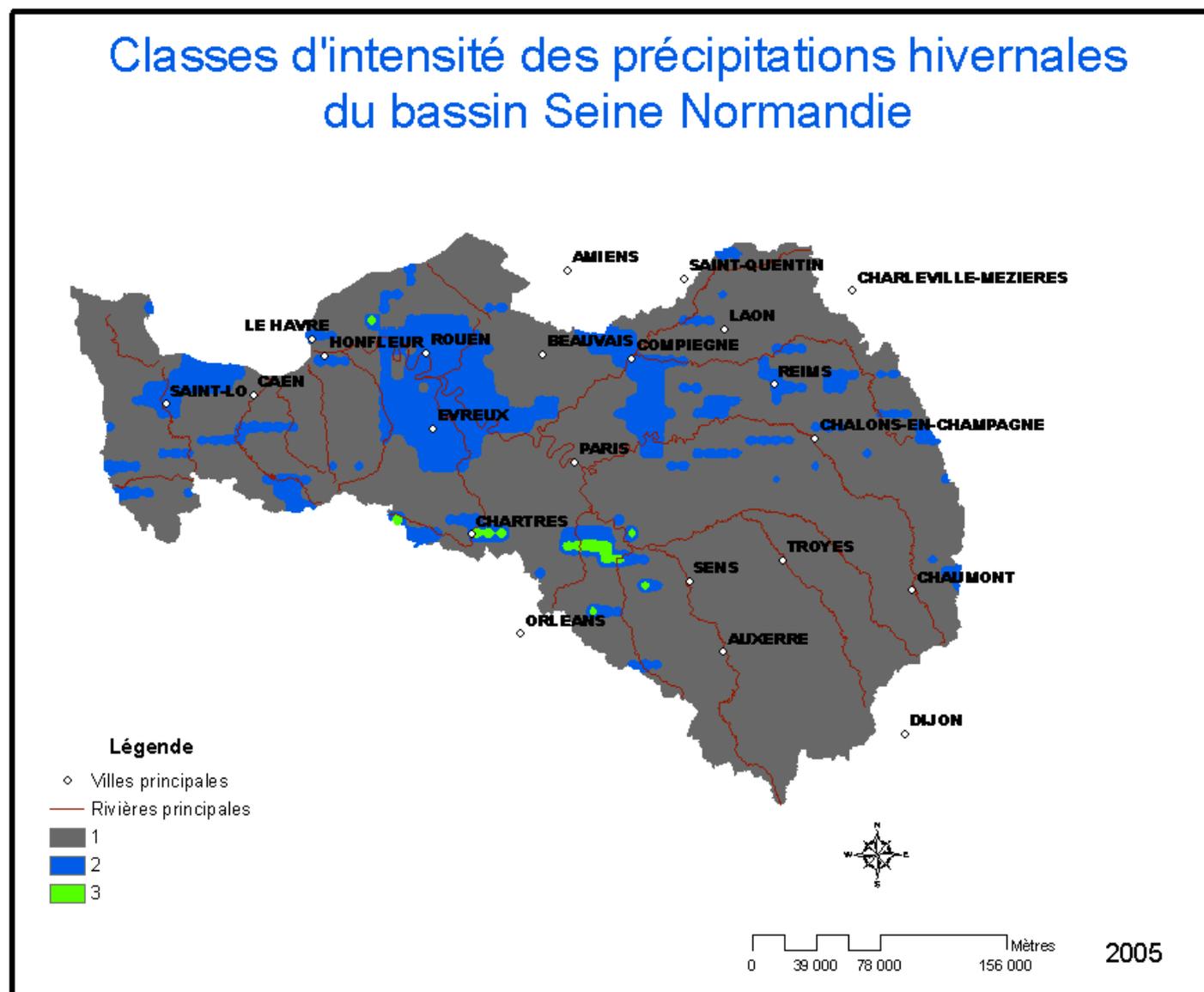


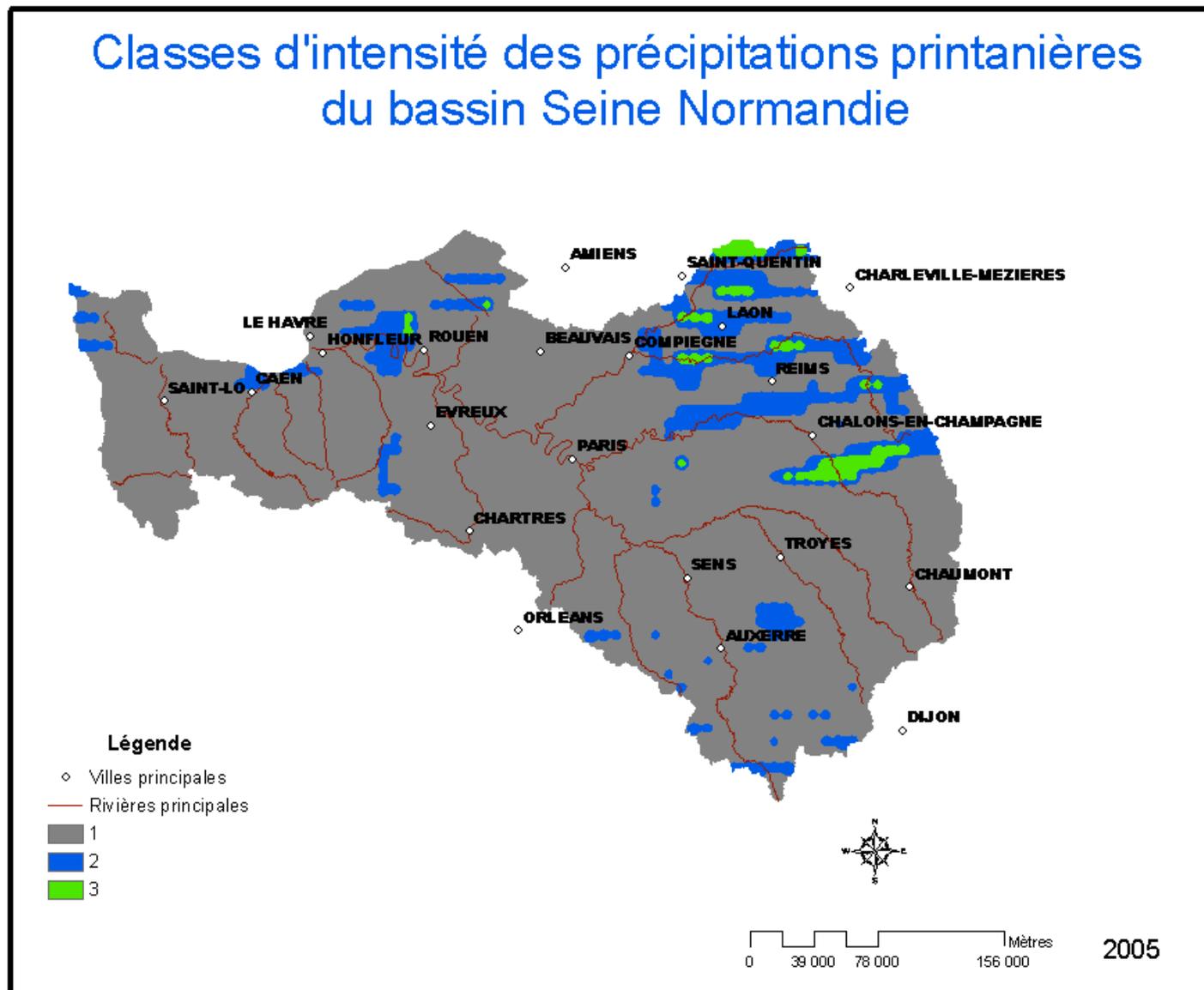


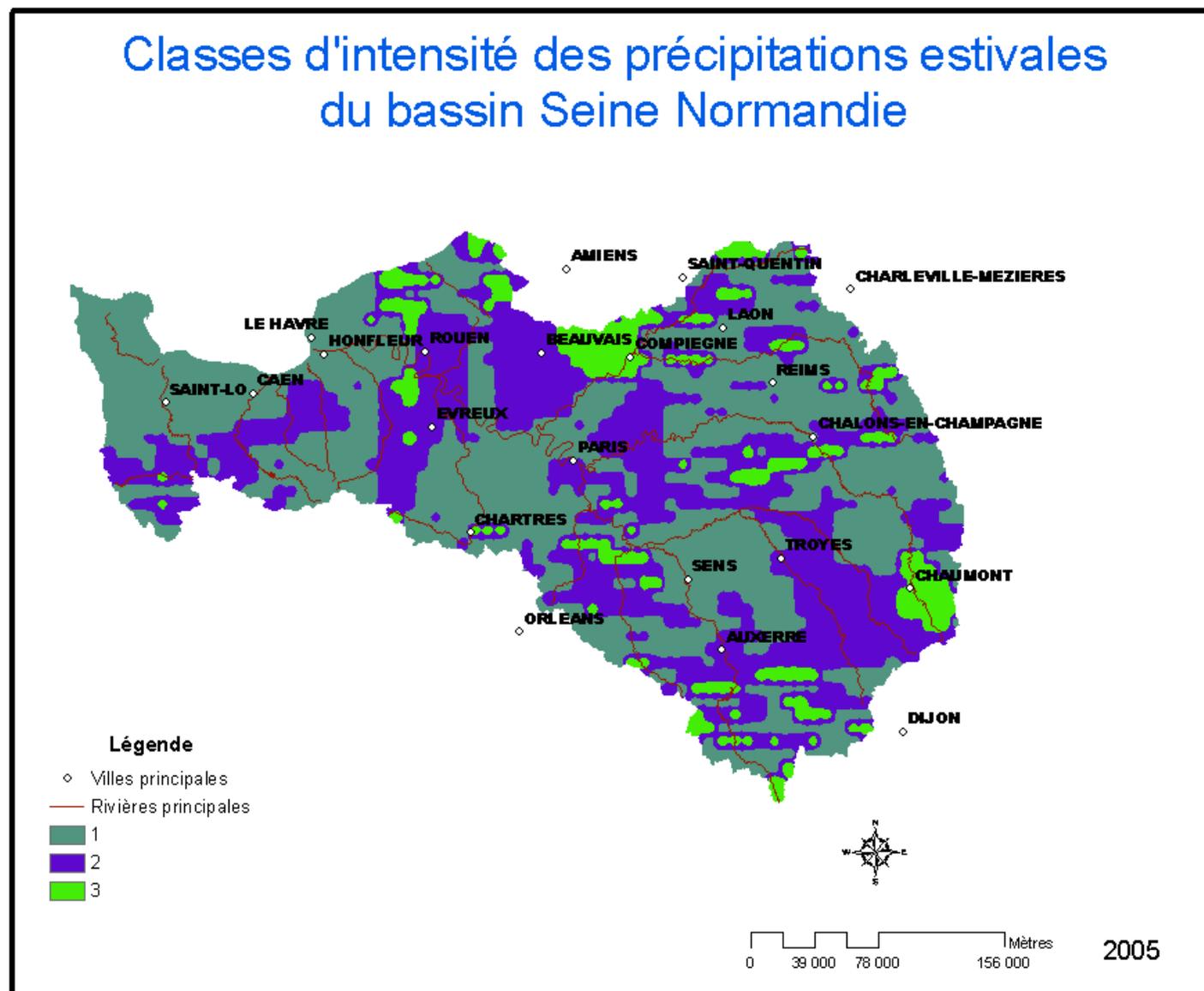


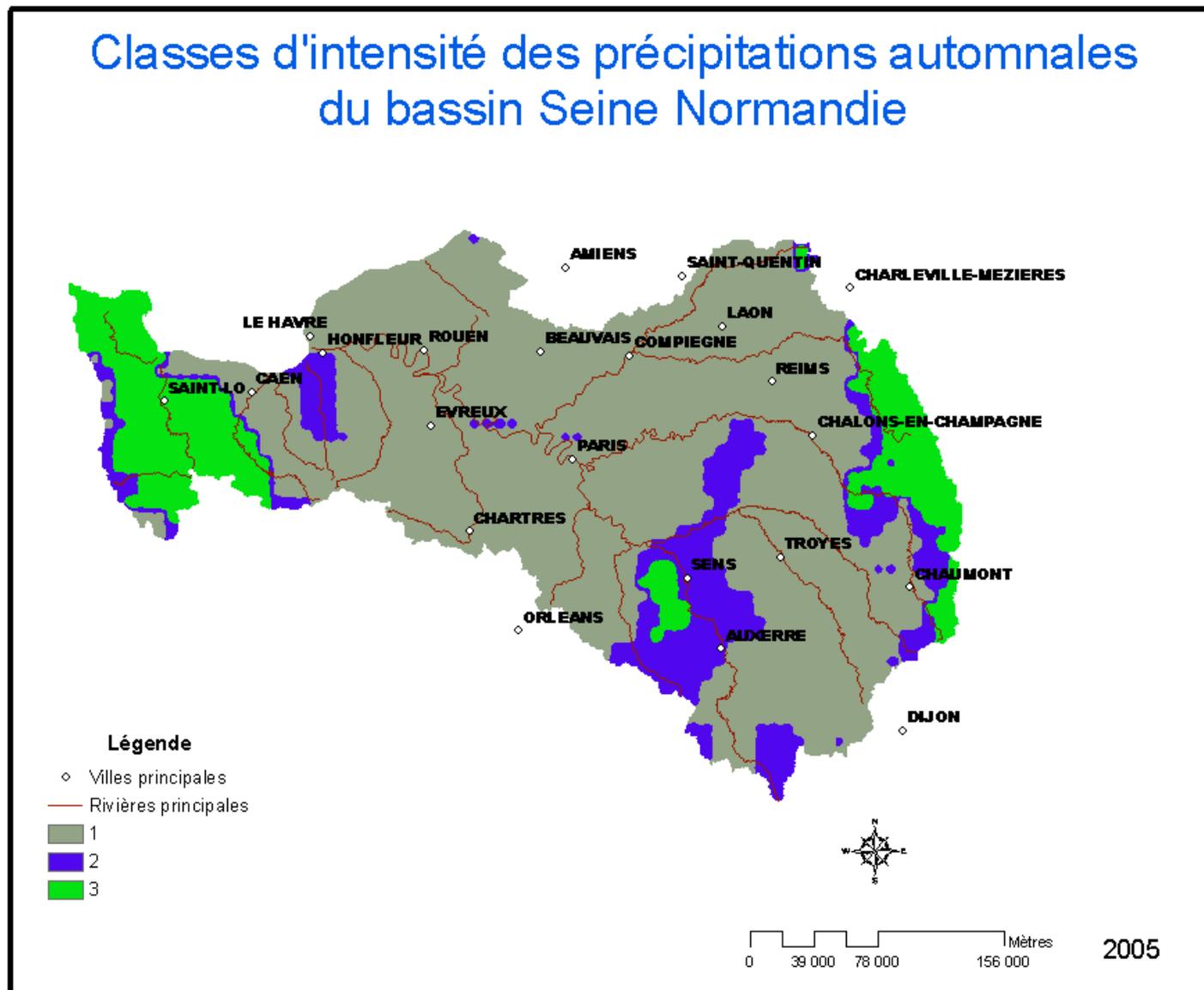
Quintiles des moyennes de précipitations automnales du bassin Seine Normandie

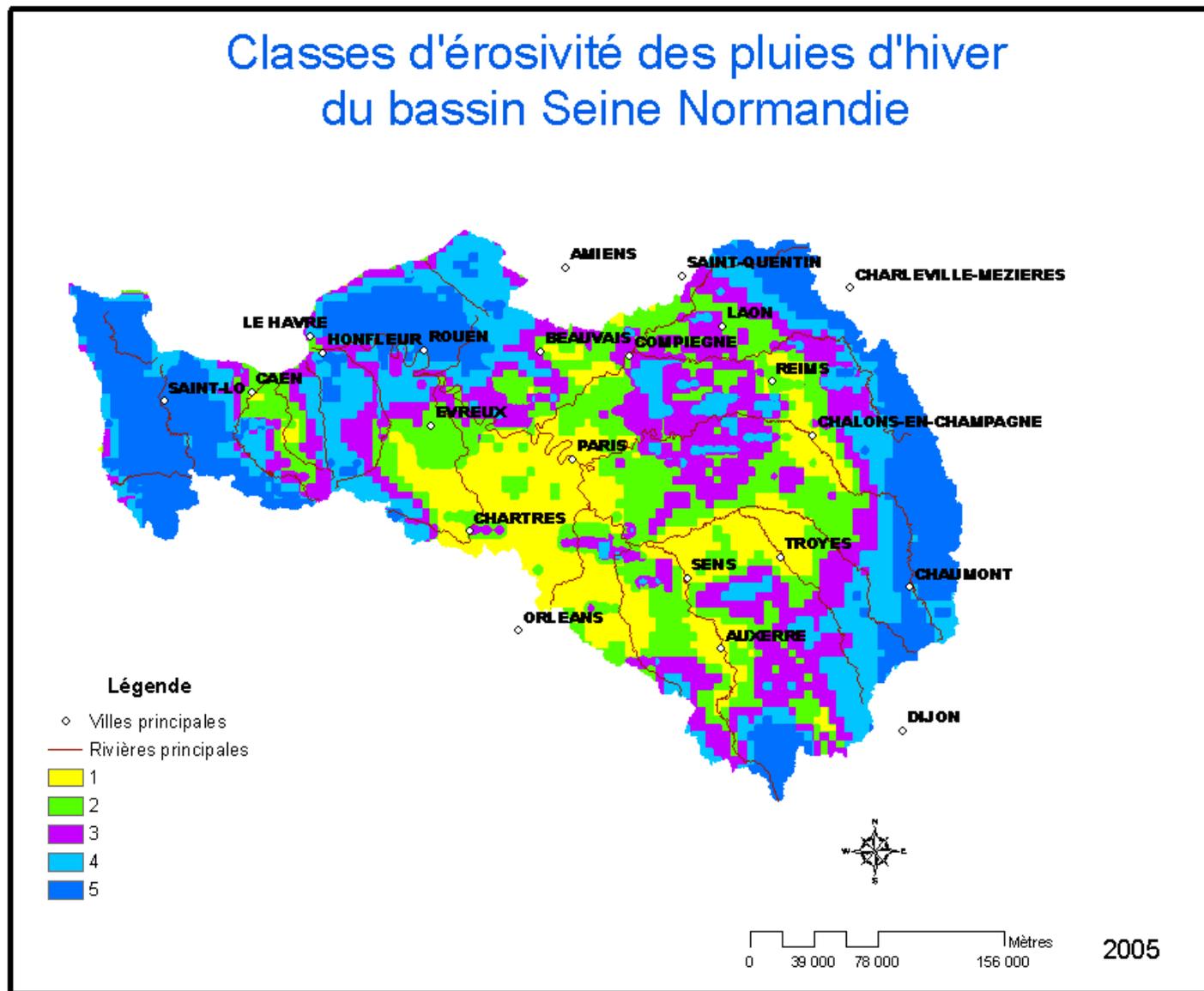


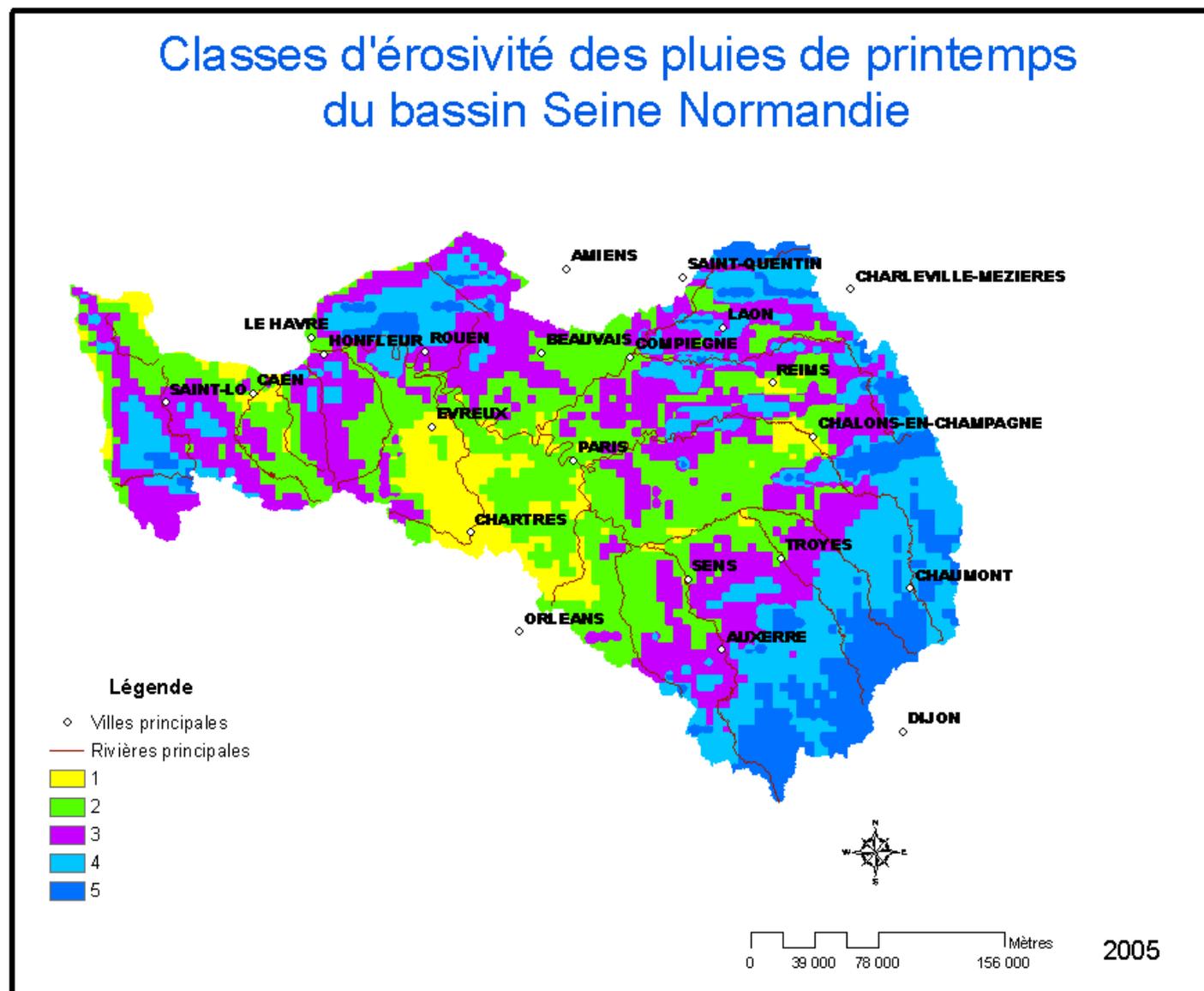


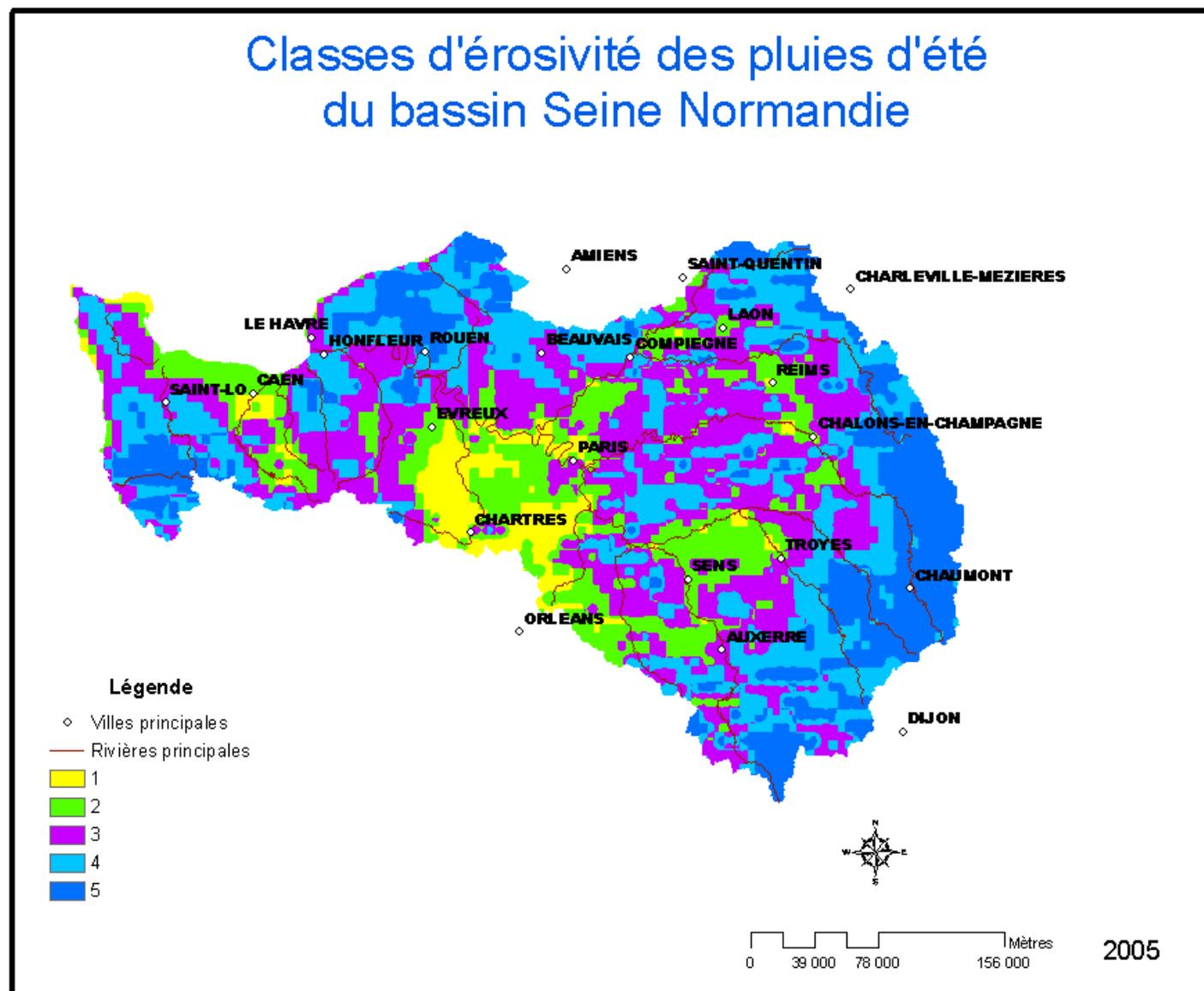


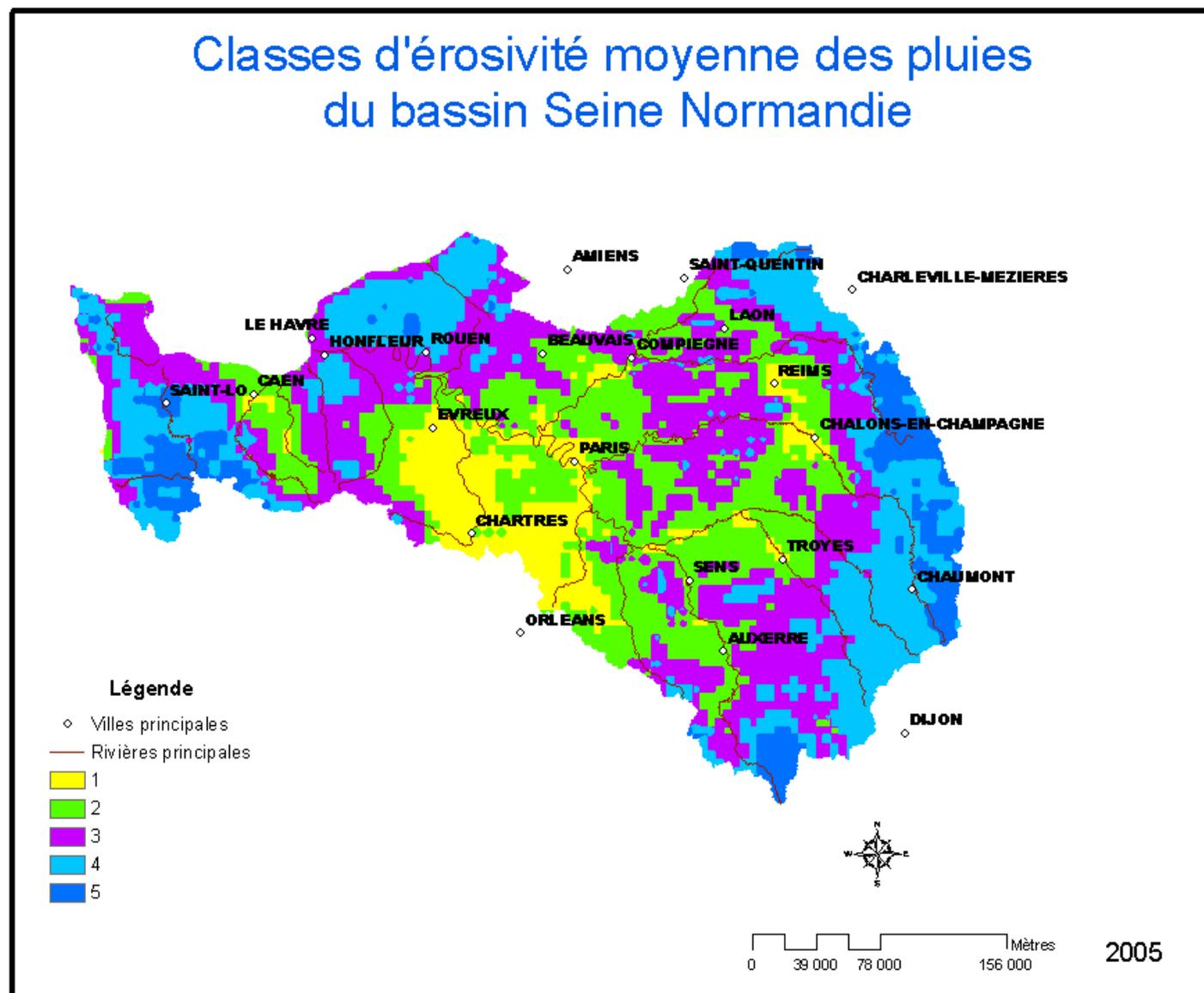




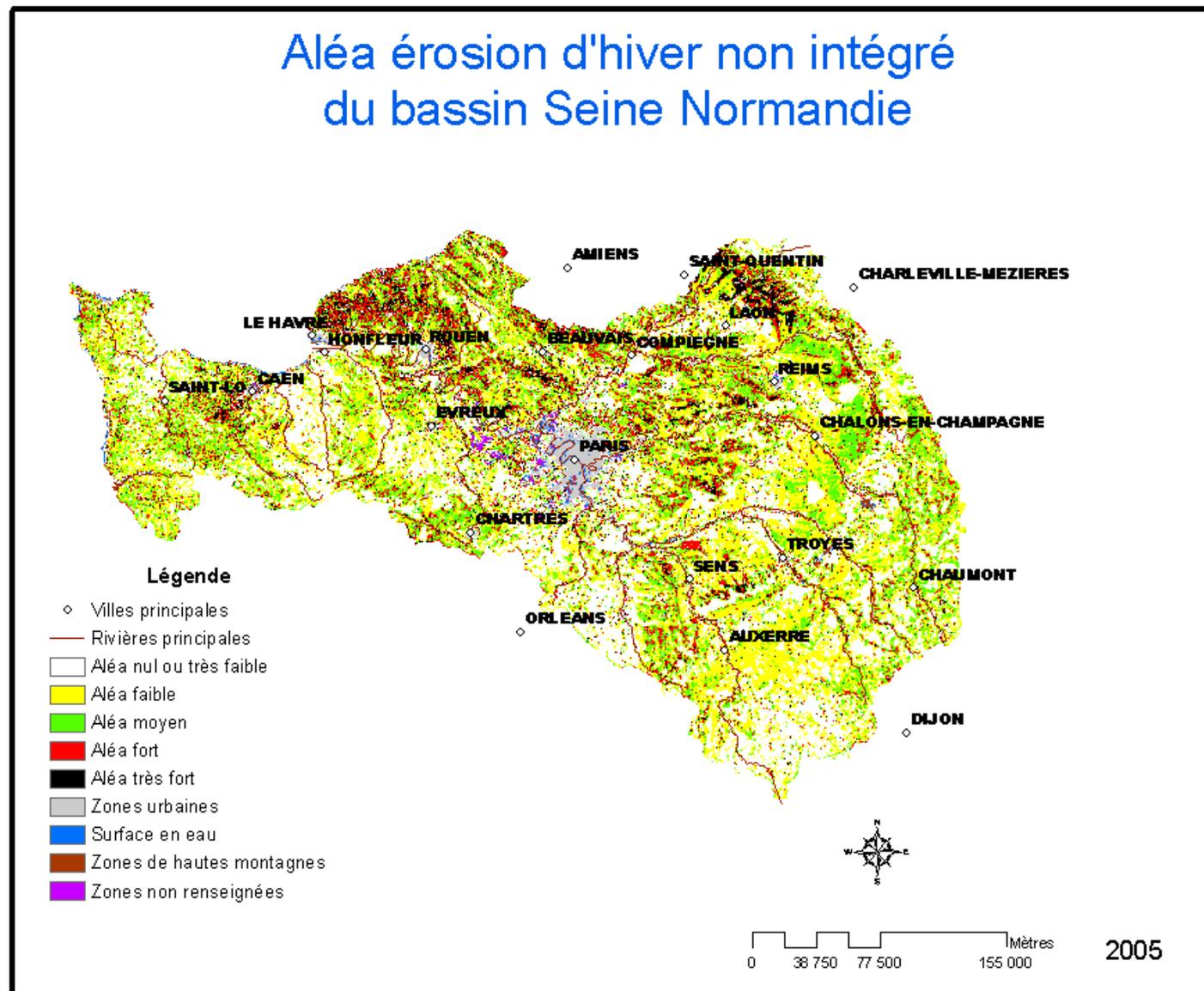


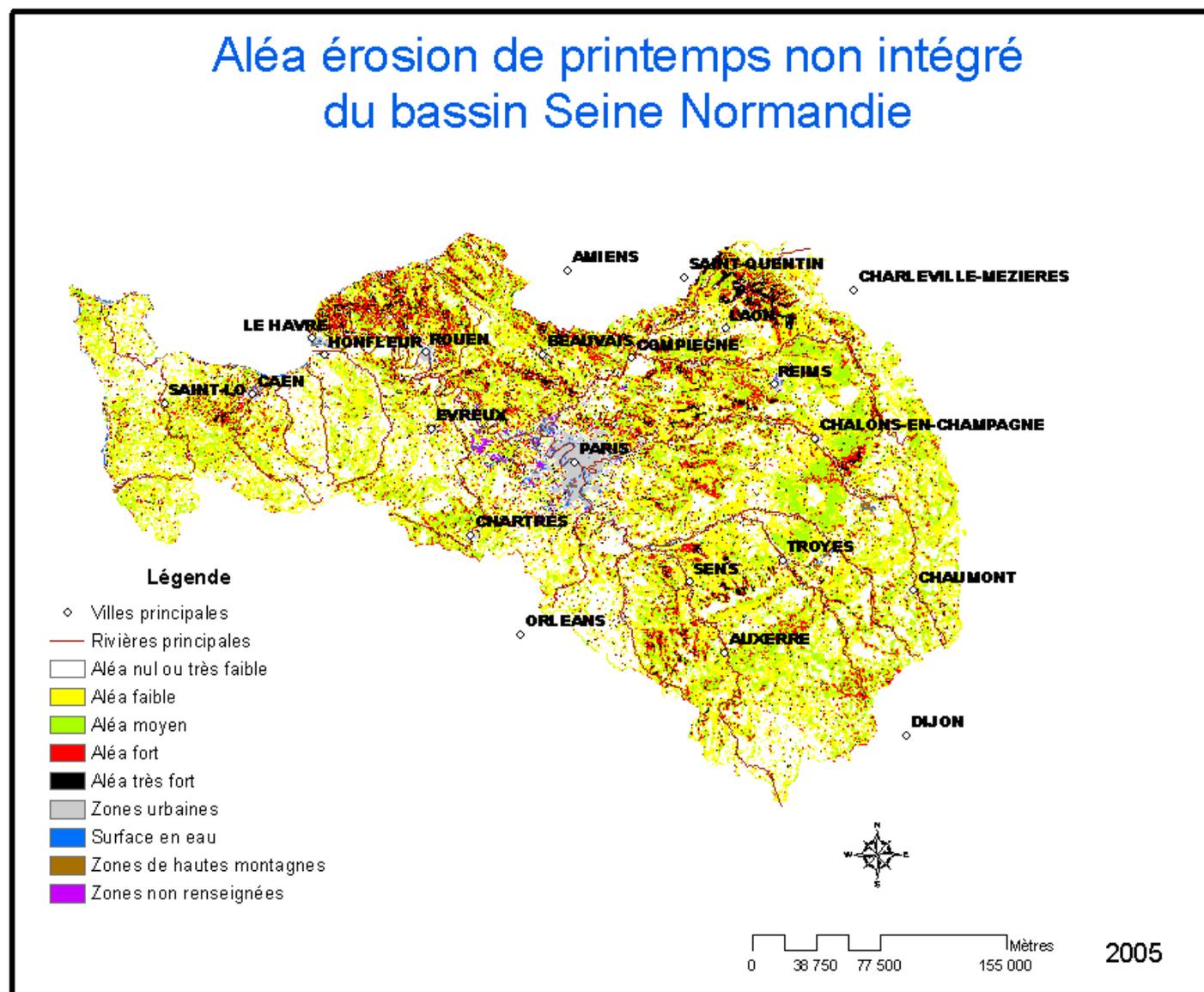


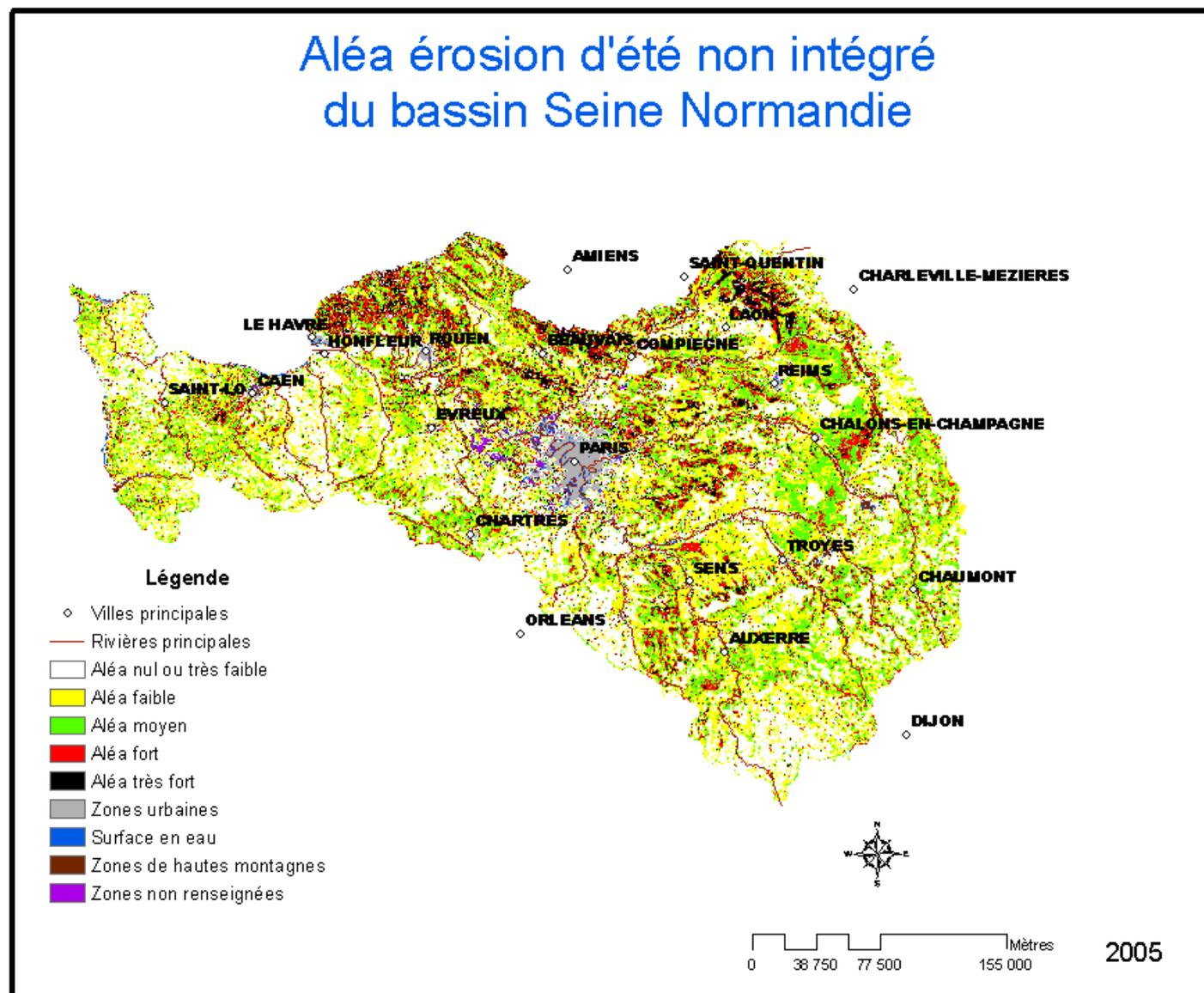


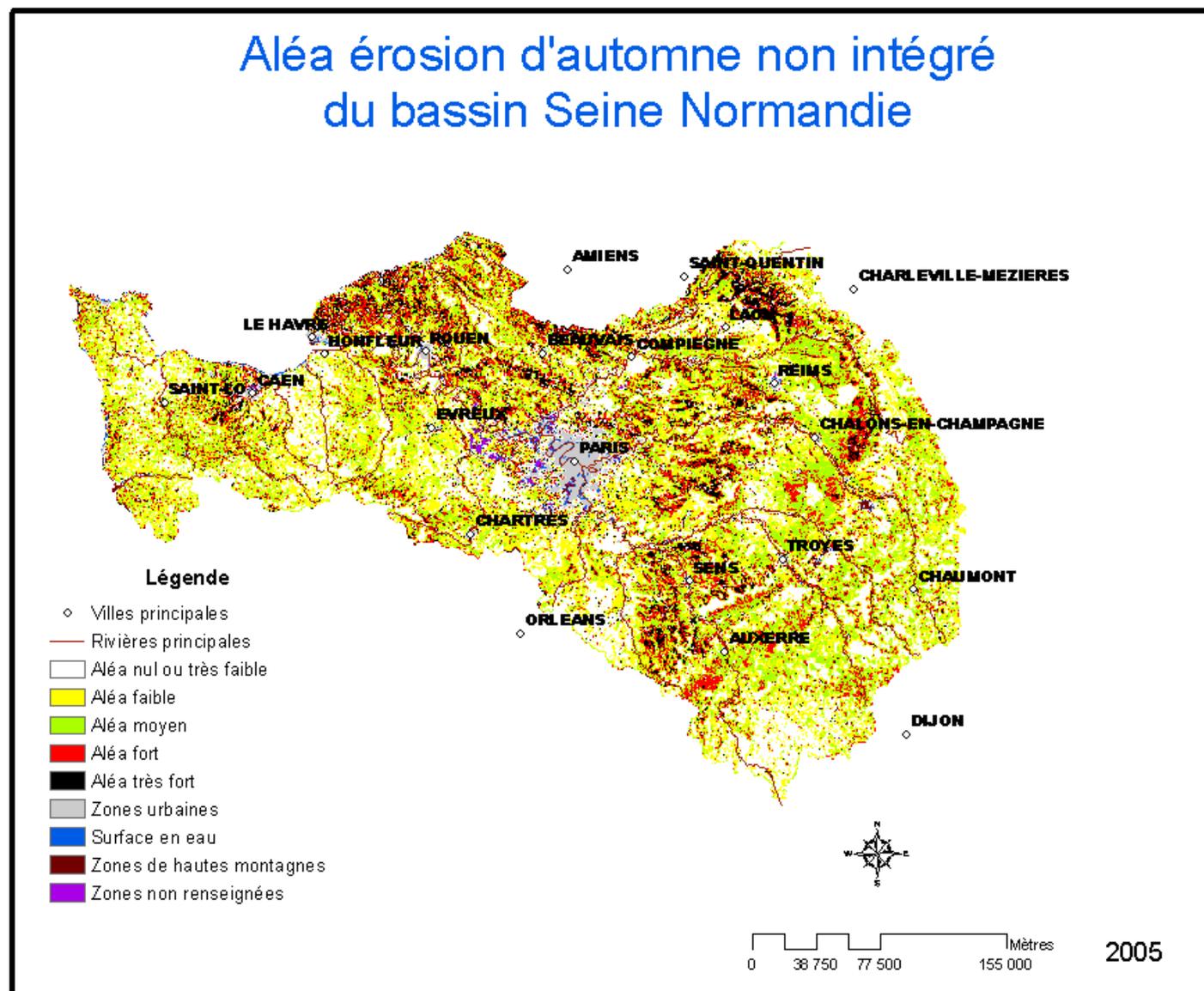


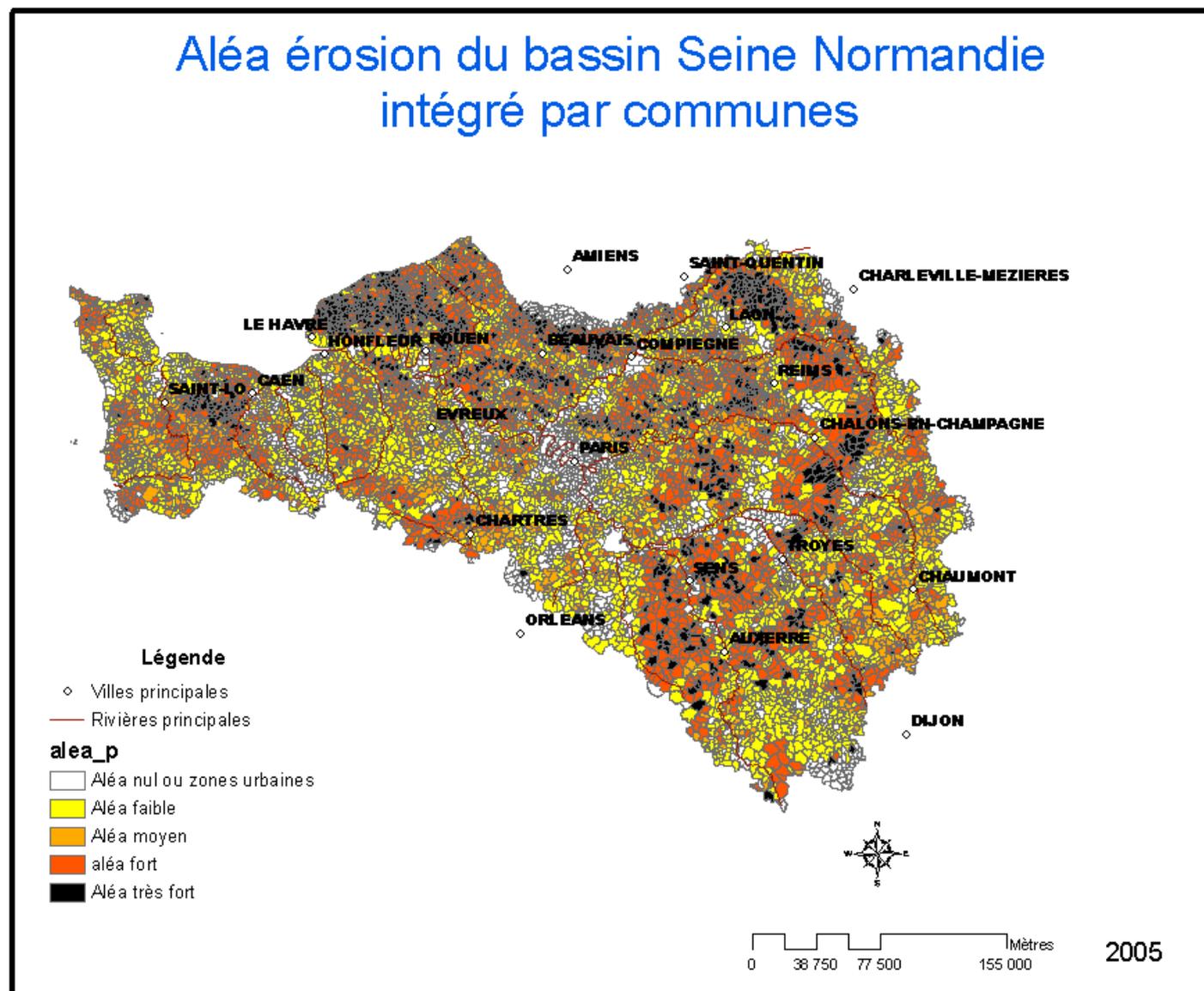
Aléa érosion d'hiver non intégré du bassin Seine Normandie

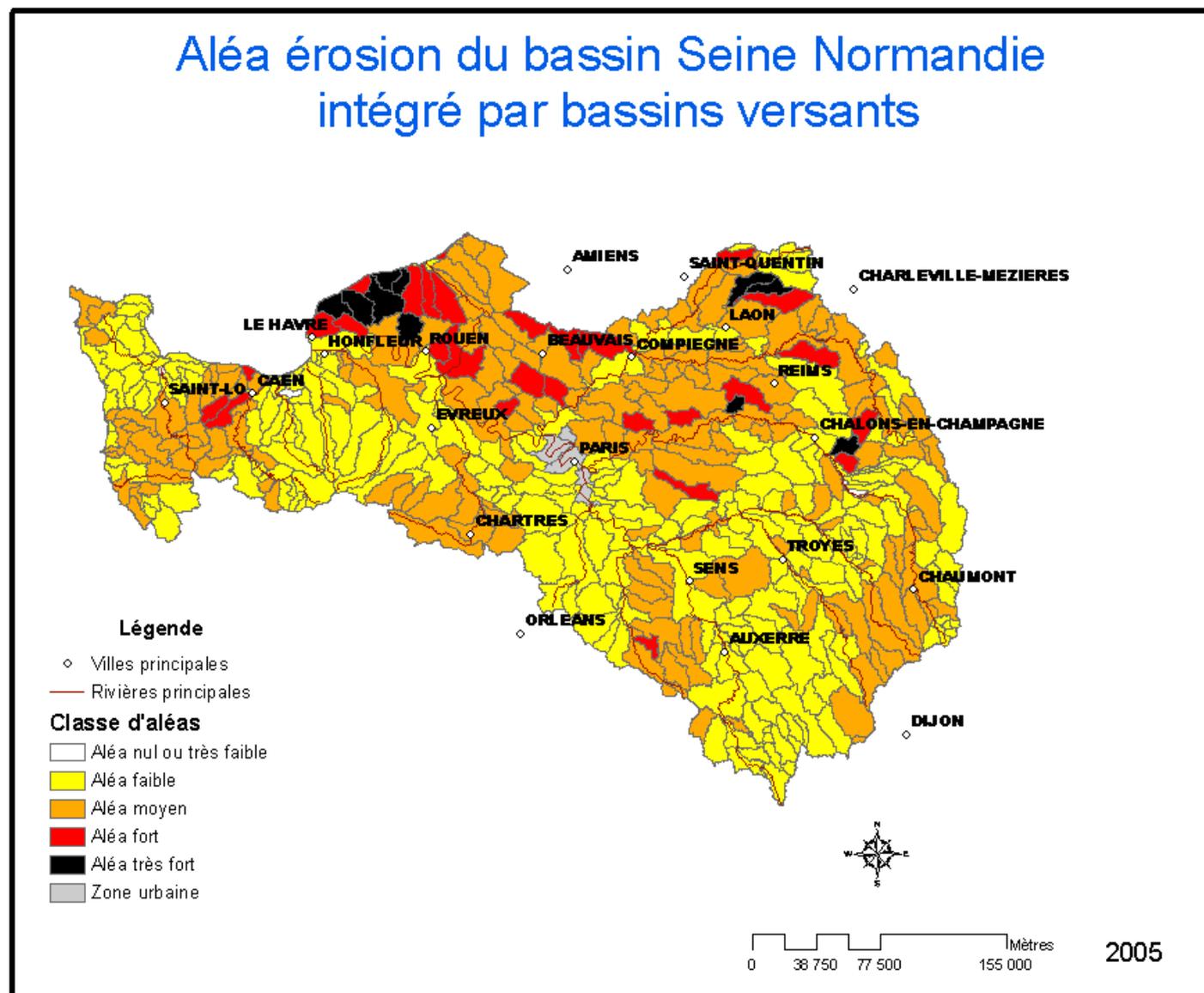




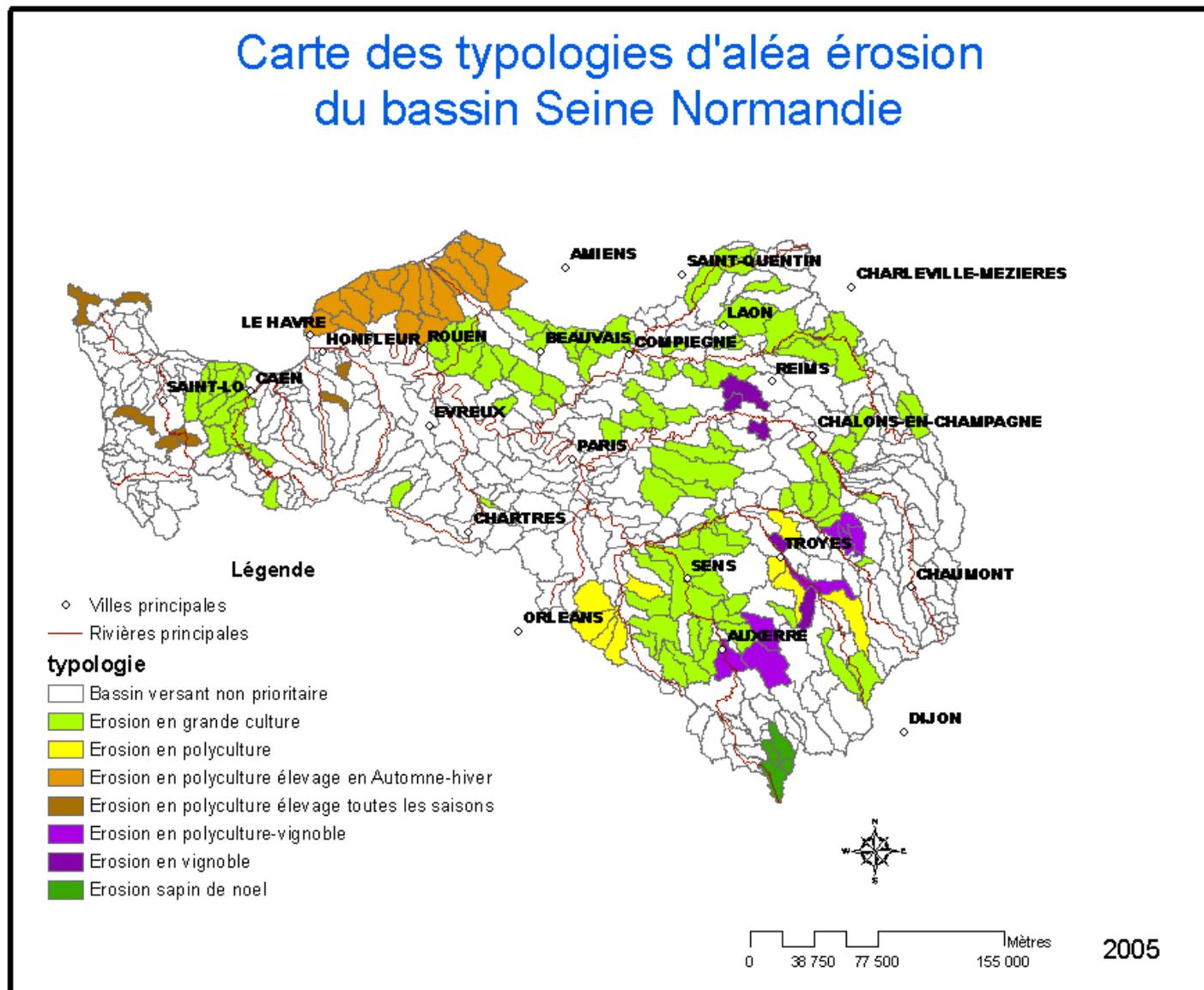




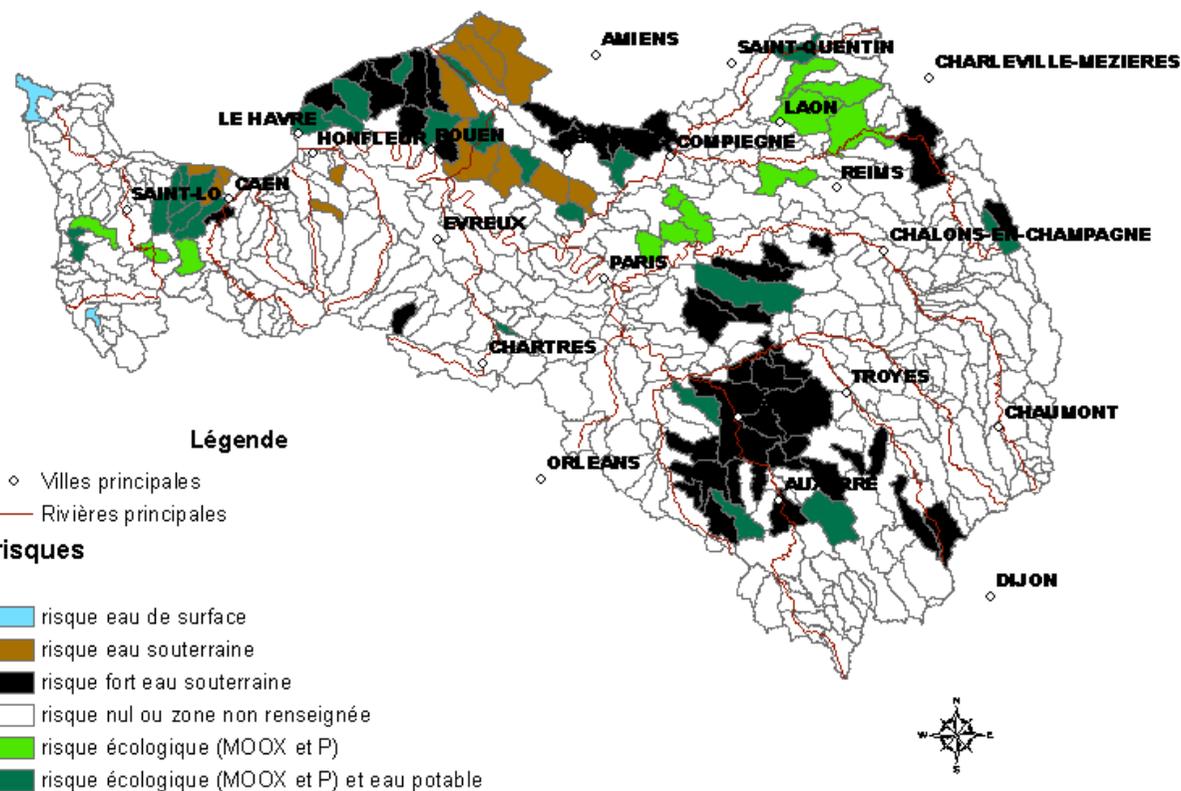




Carte des typologies d'aléa érosion du bassin Seine Normandie

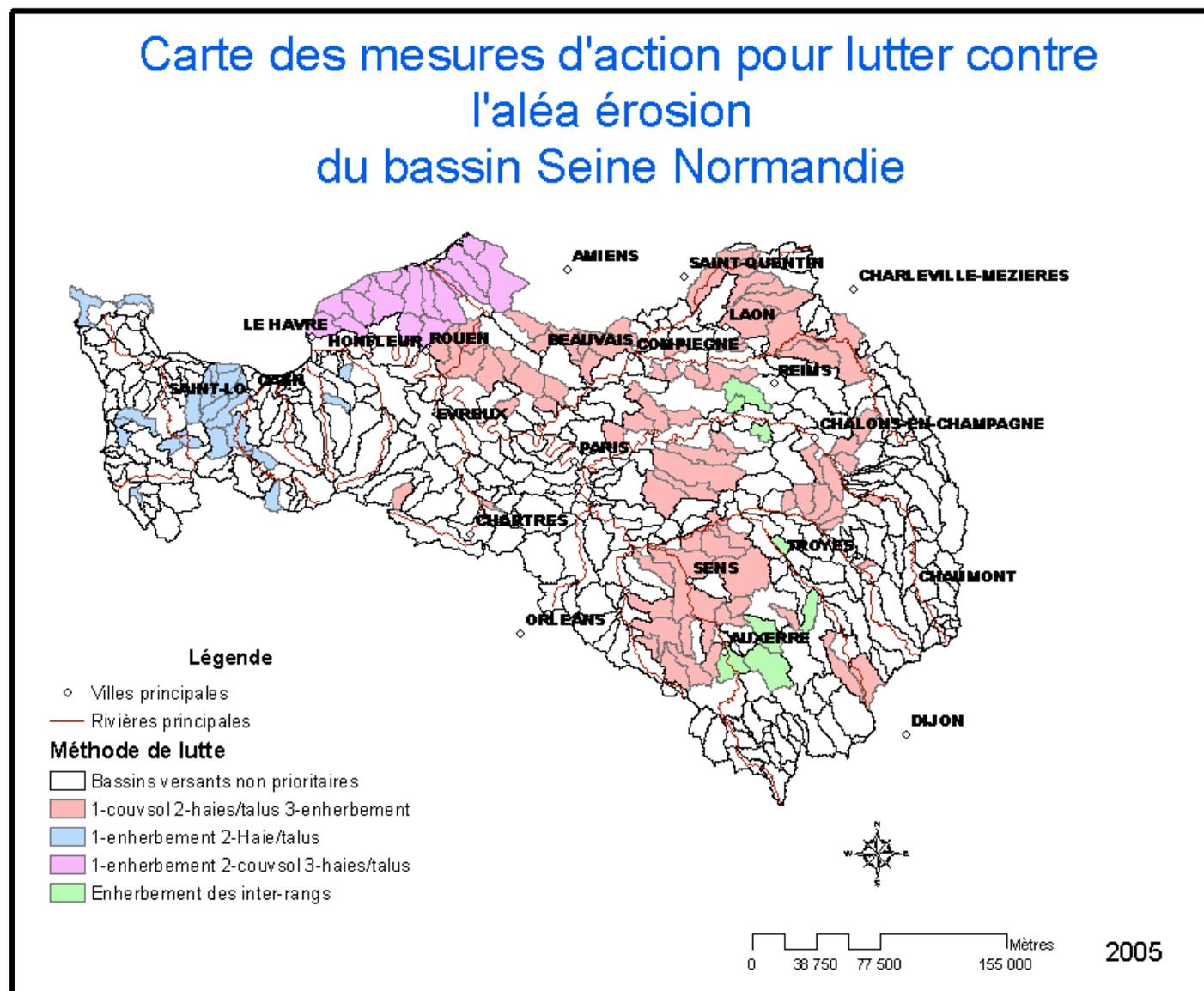


Carte des enjeux de la protection de l'eau potable en rapport avec l'aléa érosion du bassin Seine Normandie



0 38 750 77 500 155 000 Mètres

2005



Résumé :

L'érosion des sols pose de nombreux problèmes notamment par rapport à la qualité de l'eau (turbidité, transport de polluants...). Des études sur le ruissellement et l'érosion existent mais nécessitent d'être actualisées, voire améliorées par la prise en compte de paramètres d'entrée plus précis. En outre, l'Agence de l'eau Seine Normandie ne pouvant intervenir à ce jour que sur les territoires délimités des Zones d'Actions Renforcées [ZAR], souhaitait redéfinir les zones d'actions renforcées. C'est dans ce contexte que se situe l'étude de « Cartographie de l'aléa érosion sur le bassin Seine Normandie ». La carte obtenue permet de visualiser à l'échelle des bassins versants, les zones plus ou moins sensibles à l'érosion. Il est frappant de voir que de nombreuses zones connaissant des problèmes (aléa fort et très fort) ne sont pas comprises à l'intérieur des ZAR. Ceci nous amène à penser que la lutte contre l'érosion basée sur l'utilisation des ZAR, n'est peut-être pas la plus pertinente. En effet il apparaît que l'érosion est un problème qui concerne de larges territoires, homogènes du point de vue de l'érosion et qui se trouvent en dehors des ZAR. En ce qui concerne la définition de zones d'actions prioritaires, des premières étapes ont été réalisées mais nécessitent d'être approfondies ultérieurement.

Mots clés :

Erosion, ruissellement, cartographie, modélisation, aléa, enjeux, risques, agence de l'eau, écologie, eau potable, pluviométrie, pédologie, occupation du sol, pente, zones d'actions renforcées.

Abstract:

The erosion of the grounds poses many problems especially compared to the quality of water (turbidity, transport of pollutants...). Studies on the streaming and erosion exist but required to be brought up to date, even improved by the taking into account of parameters more precise. Moreover, the Agency of water of Seine-Normandie can only intervene on the delimited areas of the Reinforced Actions Area [RAA] (in French: Zones d'Actions Renforcées [ZAR]), wished to define new RAA . It is in this context that the study of "Cartography of the erosion risk on the basin Seine-Normandie". The map obtained enables to visualize on the scale of watershed, the areas more or less sensitive to erosion. It is striking to see that many areas encountering problems (strong and very strong risks) are not included inside the RAA. This enables us to think that the struggle against the erosion based on the use of the RAA, is perhaps not most relevant. Indeed it appears that erosion is a problem which relates to broad territories, homogeneous from the point of view of erosion and which are apart from the RAA. With regard to the definition of priority zones of actions, first stages were carried out but require to be thorough later on.

Key words:

Erosion, streaming, cartography, modeling, risk, stakes, risks, arrange water, ecology, drinking water, pluviometry, pedology, occupation of the ground, slope, zones of reinforced actions.