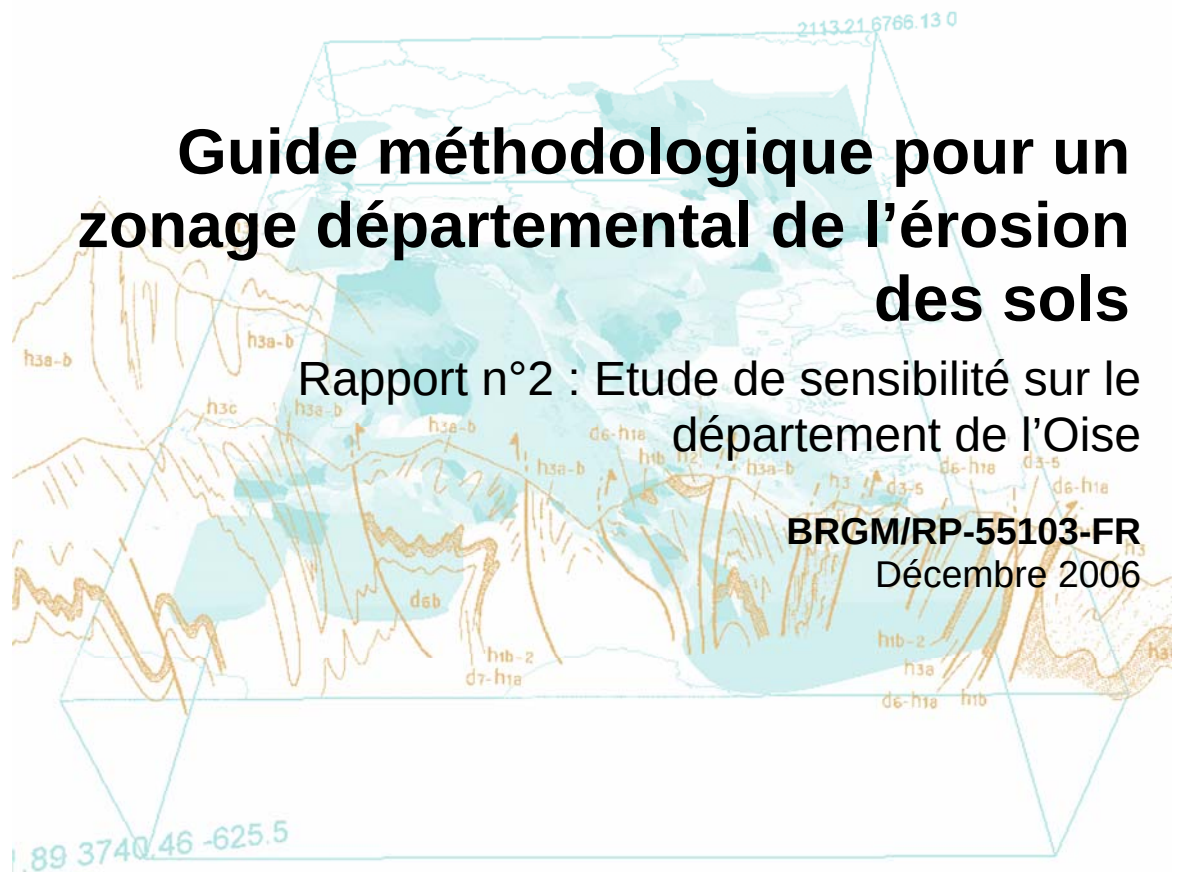




Guide méthodologique pour un zonage départemental de l'érosion des sols

Rapport n°2 : Etude de sensibilité sur le
département de l'Oise

BRGM/RP-55103-FR
Décembre 2006



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Guide méthodologique pour un zonage départemental de l'érosion des sols

Rapport n°2 : Etude de sensibilité sur le département
de l'Oise

BRGM/RP-55103-FR
Décembre 2006

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 2006 06RISZ02

N. SURDYK, O. CERDAN, I.G. DUBUS

Vérificateur :

Nom : C. Oliveros

Date :

Signature :

(Ou Original signé par)

Approbateur :

Nom : H. Modaressi

Date :

Signature :

(Ou Original signé par)

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000,

Mots clés : Zonage de l'érosion, Modèle départemental, Oise.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Surdyk N., Cerdan O., Dubus I.G. (2006). Guide méthodologique pour un zonage départemental de l'érosion des sols. Rapport n°2 : Etude de sensibilité sur le département de l'Oise. BRGM/RP-55103-FR. 60p. 60 ill.

Synthèse

Le parlement français a voté une loi le 30 juillet 2003 (n°2003-699) visant à mettre en œuvre des mesures de lutte contre l'érosion des sols. Le décret n°2005-117 paru le 12 février 2005 a précisé les termes de cette loi en indiquant **notamment la nécessité de « réaliser un zonage des risques d'érosion » sous la responsabilité des préfets**. De ce fait, on constate une multiplication récente d'essais de zonage par des organismes publics ou privés. La diversité des méthodes et le manque de validation des approches proposées posent le problème de l'harmonisation et de la fiabilité de ces méthodes.

Cette étude, financée par le **Ministère de l'Ecologie et du Développement durable**, a donc pour but de définir un cahier des charges pour l'établissement d'un zonage de l'aléa érosion à l'échelle départementale. Pour cela le projet s'est basé sur la méthodologie élaborée par l'Institut National de Recherches Agronomiques qui visait à cartographier le risque « Erosion des Sols » sur l'ensemble du territoire français, à l'échelle du 1/1 000 000. Plusieurs étapes ont été nécessaires pour atteindre cet objectif :

- tout d'abord, une étude de synthèse afin de définir le contexte général ; tant au niveau législatif, notamment en ce qui concerne les récentes avancées de la directive cadre européenne sur la conservation des sols, qu'au niveau technique sur les différentes approches de modélisation existantes ;
- une étude technique pour définir la structure et la paramétrisation les plus adaptées en s'appuyant sur deux cas tests déjà documentés, les départements de l'Oise et de l'Hérault.

Les résultats de ces travaux sont présentés dans trois rapports, un par étude départementale et le troisième qui rassemble les notes de synthèse et la conclusion générale. Le présent rapport reprend les résultats obtenus sur le département de l'Oise où une série de scénarii a été produite, afin de valider l'intérêt :

- d'une amélioration du critère pente par la prise en compte de l'aire drainée pondérée par la nature et l'occupation du sol,
- d'un Modèle Numérique de Terrain plus précis (MNT IGN 50 m),
- d'une carte des sols validée à l'échelle régionale (1/250 000 BD Sols),
- de données pluviométriques adaptées au contexte local.

Dans un deuxième temps, une validation a été réalisée, sur la base de consultation d'experts locaux.

Sommaire

1. Méthodologie	9
1.1. RAPPEL DE LA METHODOLOGIE NATIONALE.....	9
1.2. METHODOLOGIE NATIONALE POUR UNE ADAPTATION DEPARTEMENTALE	13
2. Réalisation et analyse des scénarii	14
2.1. INFLUENCE DE LA TOPOGRAPHIE.....	14
2.1.1. Influence de la résolution du MNT	14
2.1.2. Influence de l'intégration du facteur « aire drainée ».....	19
2.2. INFLUENCE DU SOL	25
2.2.1. Influence de l'érodibilité	25
2.2.2. Influence de la battance	29
2.2.3. Influence de la battance et de l'érodibilité.....	33
2.3. INFLUENCE DU FACTEUR DE L'OCCUPATION DU SOL	35
2.4. INFLUENCE DU FACTEUR CLIMATIQUE	41
3. Validation.....	46
3.1. CARTE CATNAT	46
3.2. DIRES D'EXPERTS.....	47
3.2.1. Effet de la météorologie.....	49
3.2.2. Effet de l'agressivité des pluies.	50
3.2.3. Effet de la carte des sols	51
3.2.4. Effet de occupation du sol	53
3.2.5. Effet du MNT	55
4. Conclusion	59
5. Bibliographie.....	61

Liste des illustrations

Illustration 1 : Présentation de la méthode actuelle de calcul de l'aléa érosion (INRA)	9
Illustration 2 : Cartes des paramètres de base (INRA).....	10
Illustration 3 : Arbre de décision (INRA)	11
Illustration 4 : D'après la cartographie de l'Aléa Erosion au 1/1 000 000 (INRA)	12
Illustration 5 : Ensemble des scénarii réalisés pour évaluer l'amélioration du modèle au niveau départemental	13
Illustration 6: Présentation de la méthode d'analyse de l'influence de la résolution du MNT	14
Illustration 7 : Distribution en surfaces des classes de pente pour chacune des résolutions de MNT.....	15
Illustration 8 : Ecarts de classes de pente obtenus pour trois résolutions de MNT	15
Illustration 9 : Répartition de la surface en fonction du facteur de pente obtenu pour trois cartes de MNT aux différentes résolutions	16
Illustration 10 : Ecart entre les classes de pente issues de MNT aux différentes résolutions	17
Illustration 11 : Répartition de la surface en fonction des sensibilités à l'érosion obtenues pour trois cartes de MNT aux différentes résolutions.....	18
Illustration 13 : Présentation de la méthode d'analyse de l'influence du calcul de l'aire drainée	20
Illustration 14 : Carte du facteur « aire drainée ».	21
Illustration 15 : Carte du facteur « aire drainée pondérée » obtenue par le logiciel STREAM.....	21
Illustration 16 : Répartition en surface des différentes classes de sensibilité en fonction du facteur de pente obtenu à partir de différentes méthodes de calcul de l'aire drainée.....	22
Illustration 17 : Ecart de classes entre les facteurs de pente obtenus à partir de différentes méthodes de calcul de l'aire drainée	22
Illustration 18 : Répartition de la surface en fonction des sensibilités à l'érosion obtenues à partir de différentes méthodes de calcul de l'aire drainée	23
Illustration 19 : Ecart entre les classes de sensibilité issues des différentes méthodes de calcul de l'aire drainée	24
Illustration 20 : Présentation de la méthode d'analyse de l'influence de l'érodibilité	26
Illustration 21 : Répartition de la surface en fonction de la carte des sols utilisée pour calculer la carte d'érodibilité	26
Illustration 22 : Ecart entre les classes d'érodibilité en fonction de la carte des sols utilisée.....	27
Illustration 23 : Spatialisation des différences entre la carte d'érodibilité au 1/250 000 et la carte d'érodibilité au 1/1 000 000.....	27
Illustration 24 : Répartition en surface des classes de sensibilité en fonction de la carte d'érodibilité utilisée	28

Illustration 25 : Ecart de classes de sensibilité en fonction de la carte de d'érodibilité au 1/1000000 ou au 1/250000	28
Illustration 26 : Répartition de la surface en fonction de la carte des sols utilisée pour calculer la carte de la battance	29
Illustration 27 : Ecart entre les classes de battance en fonction de la carte de sol utilisée	30
Illustration 28 : Répartition en surfaces des classes de sensibilité en fonction de la carte de la battance utilisée	30
Illustration 29 : Ecart entre les classes de sensibilité en fonction de la carte de battance utilisée	31
Illustration 30 : Spatialisation des différences entre les deux cartes de sensibilité issues des deux cartes de battance	32
Illustration 31 : Répartition en surface des classes de sensibilité en fonction de la carte des sols utilisée pour calculer les cartes d'érodibilité et de la battance	33
Illustration 32 : Ecart entre les classes de sensibilité en fonction de la carte des sols utilisée pour calculer la carte d'érodibilité et de la battance	34
Illustration 33 : Spatialisation des différences de classement de deux cartes de sensibilité à l'érosion issues de cartes de la battance et d'érodibilité différentes	35
Illustration 34 : Répartition de la surface des cartes de l'occupation du sol en fonction des deux différentes cartes de CLC	36
Illustration 35 : Répartition en surface des classes de sensibilité issue de deux différentes cartes de CLC	36
Illustration 36 : Nombre de classes de sensibilité d'écart en fonction de la carte Corine Land Cover utilisée	37
Illustration 37 : Evolution de l'occupation du sol entre CLC 1990 et CLC 2000.	38
Illustration 38 : Différence d'occupation des sols en fonction de la carte d'occupation des sols utilisée	39
Illustration 39 : Répartition de la surface dans les classes de sensibilité calculé à partir des CLC 1990 et 2000	39
Illustration 40 : Nombre de classes de sensibilité d'écart en fonction de la carte Corine Land Cover utilisée	40
Illustration 41 : Présentation de la méthode d'analyse de l'influence de la prise en compte de différents facteurs climatiques	42
Illustration 42 : Carte de répartition des quintiles de hauteur de précipitations moyennes annuelles sur le département de l'Oise	42
Illustration 43 : Carte de répartition des classes d'intensité de précipitations sur le département de l'Oise calculées en prenant en compte le nombre de jours ou le seuil de 15mm en 1h pendant une heure est dépassé.	43
Illustration 44 : hauteur de précipitations maximum en 24h pour deux périodes de retour et deux stations météorologiques dans l'Oise.	43
Illustration 45 : Répartition en surface des classes d'aléa érosion obtenu pour différentes méthodes de calcul de l'agressivité des pluies	44

Illustration 46 : Ecart en surface entre les classes de sensibilité et d'aléa érosion obtenu pour deux méthodes de pondération des pluies.	45
Illustration 47 : Répartition du nombre de catastrophes naturelles "coulée de boue" par commune dans l'Oise et tracé des principales rivières du département.	46
Illustration 48 : Carte de la population de l'Oise par commune en 1999.....	47
Illustration 49 : carte de référence de l'aléa érosion. Les cercles indiquent les modifications faites par les experts.	48
Illustration 50 : Carte de sensibilité.....	49
Illustration 51 : Carte d'aléa.....	50
Illustration 52 : Carte d'aléa où les hauteurs de pluies sont pondérées par la méthode des périodes de retour.....	51
Illustration 53 : Carte d'aléa où les hauteurs de pluies sont pondérées par la méthode des fréquences des précipitations.....	51
Illustration 49 : carte de référence.....	52
Illustration 54 : Carte d'aléa réalisé à partir d'une carte de sol au 1/1 000 000	52
Illustration 55 : Carte d'aléa réalisé à partir d'une carte de sol au 1/250 000	53
Illustration 49 : carte de référence.....	54
Illustration 56 : Carte d'aléa réalisée à partir du CLC 1990.....	54
Illustration 57 : Carte d'aléa réalisée à partir du CLC 2000.....	55
Illustration 49 : carte de référence.....	55
Illustration 58 : Carte d'aléa réalisée avec un MNT de maille 50 × 50 m	56
Illustration 59 : Carte d'aléa réalisée avec un MNT de maille 250 × 250 m	56
Illustration 60 : Carte d'aléa réalisée avec un MNT de maille 90 × 90 m	57

1. Méthodologie

1.1. RAPPEL DE LA METHODOLOGIE NATIONALE

La méthodologie définie par l'INRA pour la cartographie de l'aléa érosion en France est basée sur un arbre de décision bâti à partir des connaissances d'experts agronomes et pédologues (Illustration 1).

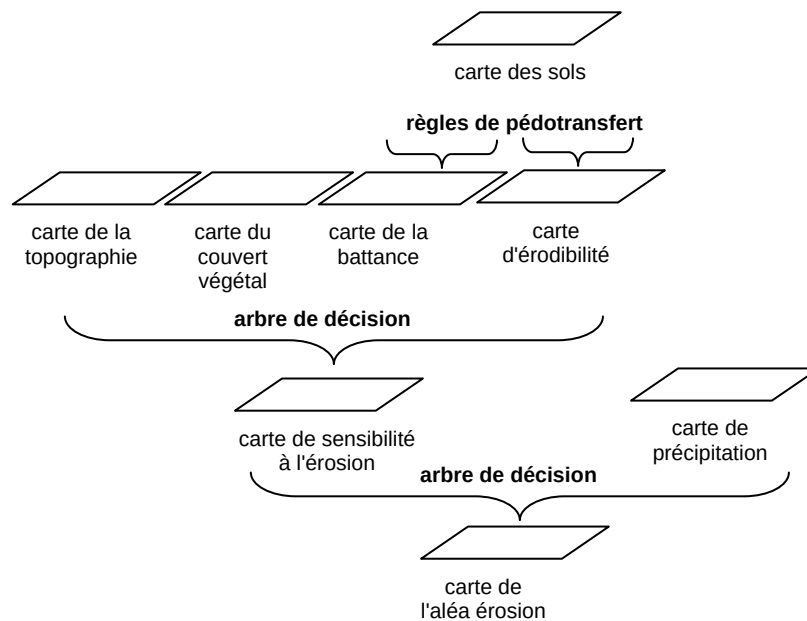


Illustration 1 : Présentation de la méthode actuelle de calcul de l'aléa érosion (INRA)

Les critères pris en compte (Illustration 2) sont :

- l'occupation du sol,
- l'érodibilité et la battance obtenues à l'aide de règles de pédo-transfert ,
- les pentes,
- les précipitations.

Dans cette démarche, quatre cartes intermédiaires sont nécessaires pour dresser la carte de la sensibilité à l'érosion. Chacune de ces cartes représente un nœud du modèle. Elles concernent l'occupation du sol, l'érodibilité, la battance et la topographie. Les cartes d'érodibilité et de la battance sont obtenues en appliquant différentes règles de pédo-transferts. Un cinquième critère est ajouté aux quatre premiers pour

représenter l'action de la pluie. Cette carte correspond au dernier nœud de l'arbre de décision et permet de dresser la carte de l'aléa érosion.

Les restitutions cartographiques ont alors été proposées par commune, par canton, et par petite région agricole.

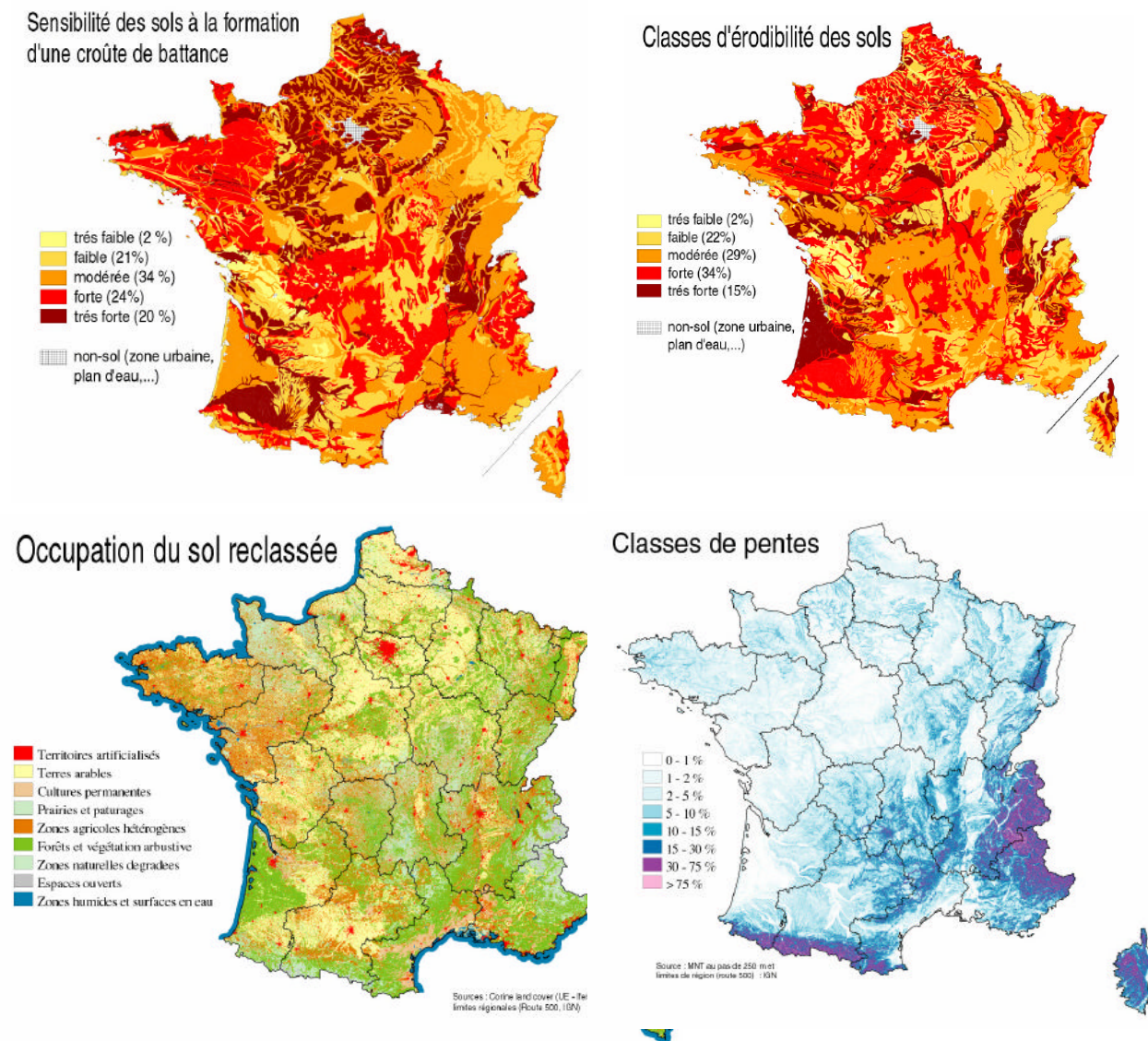


Illustration 2 : Cartes des paramètres de base (INRA)

Ces critères sont alors intégrés dans un modèle de type système expert (Illustration 3), où à chaque situation correspond un niveau d'aléa érosion, et ce pour chaque saison (Illustration 4).

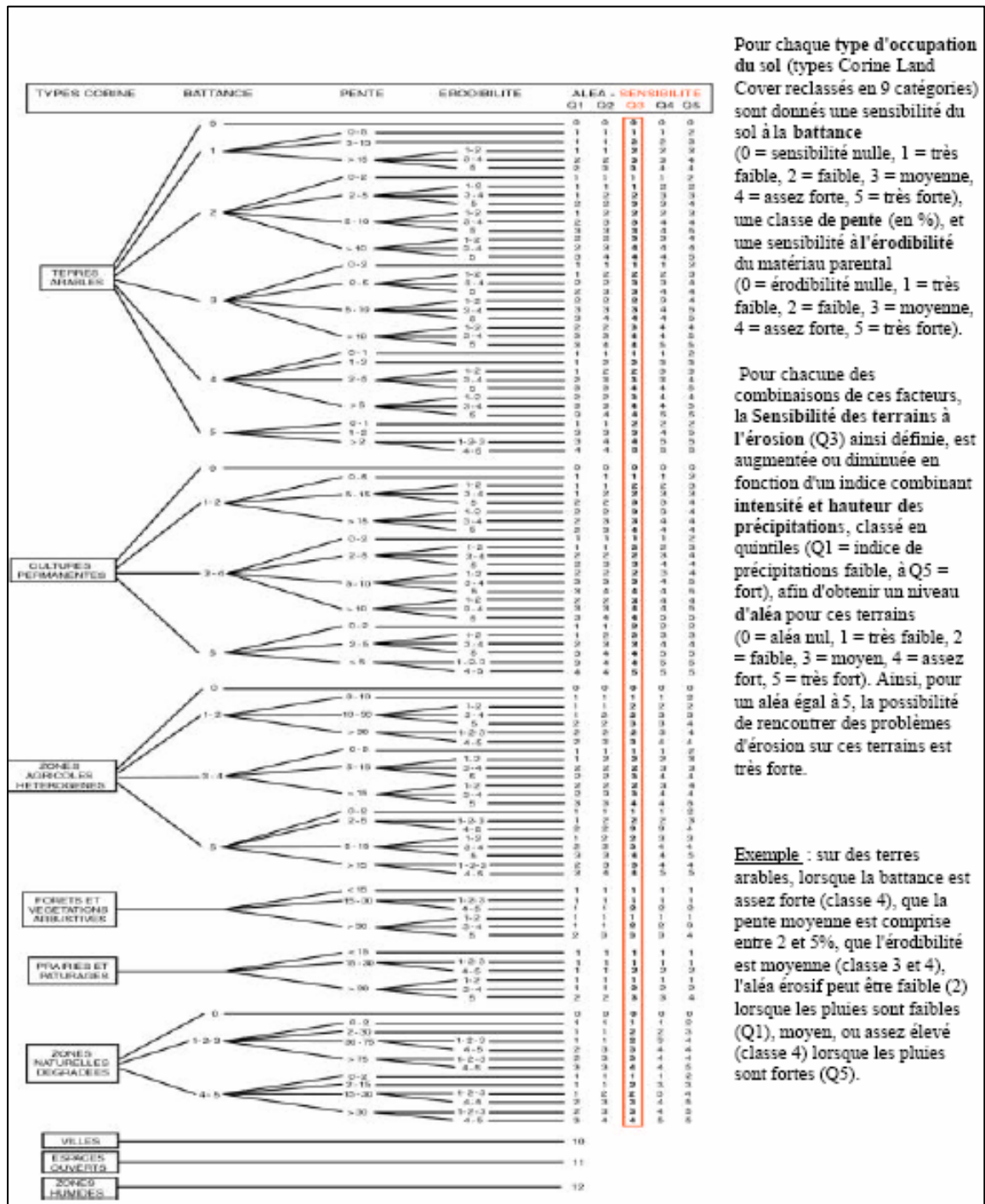


Illustration 3 : Arbre de décision (INRA)

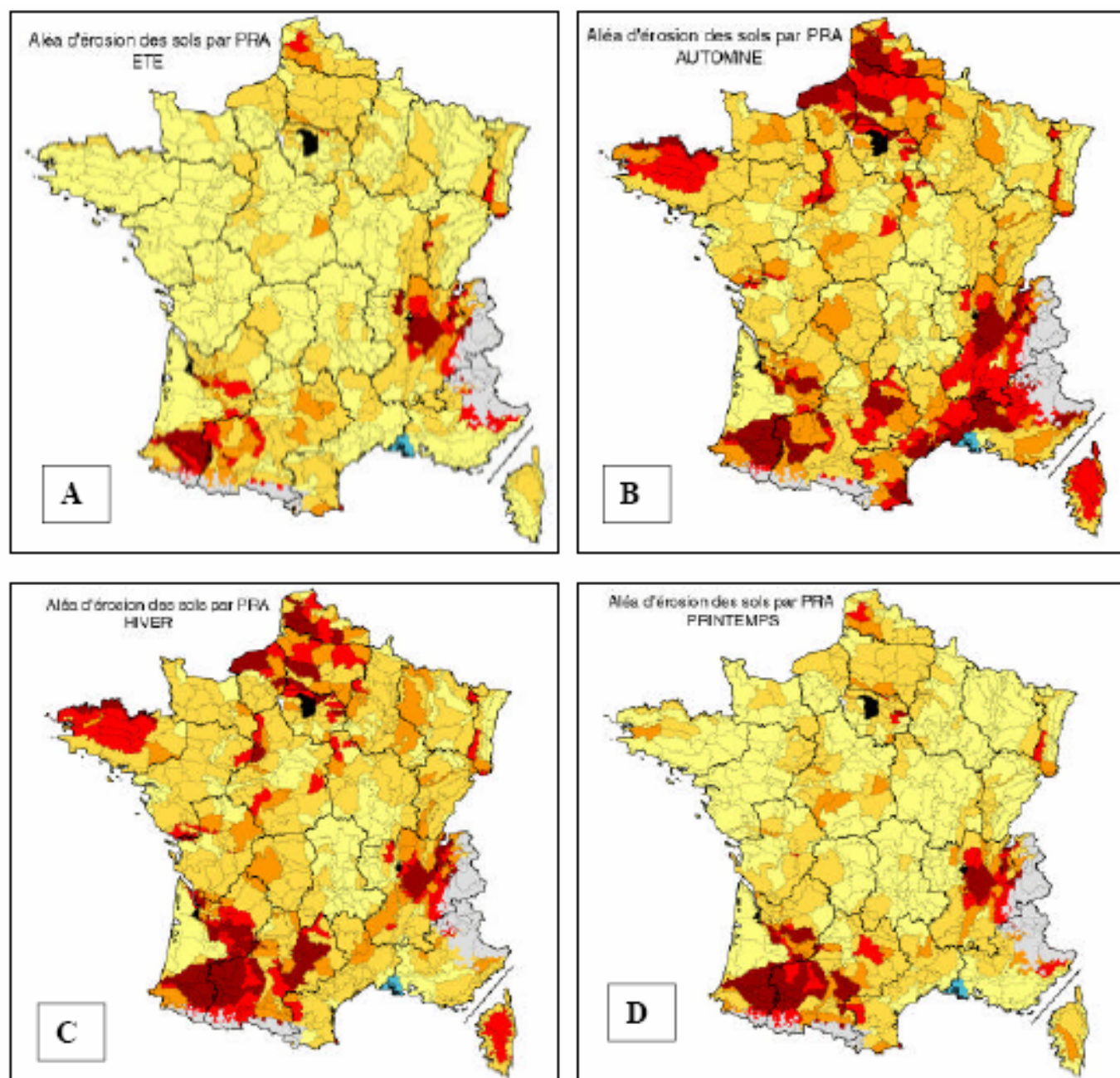


Illustration 4 : D'après la cartographie de l'Aléa Erosion au 1/1 000 000 (INRA)

1.2. METHODOLOGIE NATIONALE POUR UNE ADAPTATION DEPARTEMENTALE

L'extrapolation à l'échelle d'un département de la cartographie produite au 1/1 000 000 n'étant pas envisageable (Le Bissonnais et al, 2002), une amélioration de la carte d'aléa était un préalable nécessaire à la validation du modèle au niveau départemental.

Au cours de cette étude nous sommes arrivés à la conclusion que l'arbre de décision était probablement la méthode actuellement la plus adaptée pour l'évaluation de l'érosion (Cerdan et al., 2006), et que l'amélioration de la carte d'aléa érosion est liée à l'amélioration des cartes intermédiaires.

L'amélioration des cartes intermédiaires avait plusieurs objectifs :

1. Intégrer des données plus précises et en évaluer l'impact (le Modèle Numérique de Terrain IGN à 50 m, les données pluviométriques au pas d'un kilomètre, la carte des sols au 1/250 000) ;
2. Evaluer l'apport d'une approche plus dynamique (remplacement de la carte des pentes par l'aire drainée ou par l'aire drainée pondérée par la nature et l'occupation du sol).

L'intégration de ces nouvelles cartes intermédiaires, dans un strict respect de la méthodologie définie par l'INRA, a permis de générer une série de scénarii. Chacune des cartes de sensibilité a été construite en changeant une des cartes intermédiaires (Illustration 5). La vérification de l'amélioration des cartes départementales par rapport aux cartes nationales a consisté en la comparaison des cartes de sensibilité finales et des cartes intermédiaires entre elles.

Définition du MNT (m)	Pondération du MNT	Corine Land Cover	Battance	Erodibilité	Pondération des hauteurs de pluie
50	Aire drainée	1990	1/250000 ^e	1/250000 ^e	Aucune
90	Aire drainée	1990	1/250000 ^e	1/250000 ^e	Aucune
250	Aire drainée	1990	1/250000 ^e	1/250000 ^e	Aucune
90	Aucune	1990	1/250000 ^e	1/250000 ^e	Aucune
90	Aire drainée	1990	1/250000 ^e	1/250000 ^e	Aucune
90	Aire drainée pondérée	1990	1/250000 ^e	1/250000 ^e	Aucune
90	Aire drainée	1990	1/250000 ^e	1/250000 ^e	Aucune
90	Aire drainée	1990	1/250000 ^e	1/1000000 ^e	Aucune
90	Aire drainée	1990	1/1000000 ^e	1/250000 ^e	Aucune
90	Aire drainée	1990	1/1000000 ^e	1/1000000 ^e	Aucune
90	Aire drainée	1990	1/250000 ^e	1/250000 ^e	Aucune
90	Aire drainée	2000	1/250000 ^e	1/250000 ^e	Aucune
90	Aire drainée	1990	1/1000000 ^e	1/1000000 ^e	Fréquence de pluie
90	Aire drainée	1990	1/1000000 ^e	1/1000000 ^e	Période de retour

Illustration 5 : Ensemble des scénarii réalisés pour évaluer l'amélioration du modèle au niveau départemental

2. Réalisation et analyse des scénarii

2.1. INFLUENCE DE LA TOPOGRAPHIE

Pour analyser l'action de la topographie (Illustration 6), l'influence de la résolution de la carte du Modèle Numérique de Terrain (MNT) ainsi que celle du calcul de l'aire drainée ont été étudiées (§ 2.1.1). Trois résolutions du MNT ont été utilisées : 50×50 m, 90×90 m, 250×250 m. Les deux résolutions les plus élevées ont été obtenues par ré-échantillonnage de la carte 50×50 m à l'aide du logiciel ARCMAP.

L'influence de l'aire drainée a été aussi étudiée en réalisant trois cartes (§ 2.1.2). Pour la première, l'aire drainée a été calculée par ARCMAP ; dans la deuxième, l'aire drainée n'a pas été prise en compte ; enfin dans la troisième carte, l'aire drainée a été calculée par le modèle STREAM (Cerdan et al., 2002). Dans ce dernier cas, l'aire drainée représente la surface drainée pondérée par l'occupation du sol et la sensibilité à la battance.

2.1.1. Influence de la résolution du MNT

Les trois cartes de modèle numérique de terrain ont été comparées. Ces cartes donnent des altitudes alors que des classes de pentes (en %) sont utilisées dans le modèle. Les cartes de MNT ont donc été transformées en cartes de classes de pente pour rester cohérent avec la méthodologie nationale. Les pixels des cartes de MNT à chacune des résolutions ont donc d'abord été transformés en pente puis chaque pixel a été placé dans une des huit classes du modèle (Illustration 7).

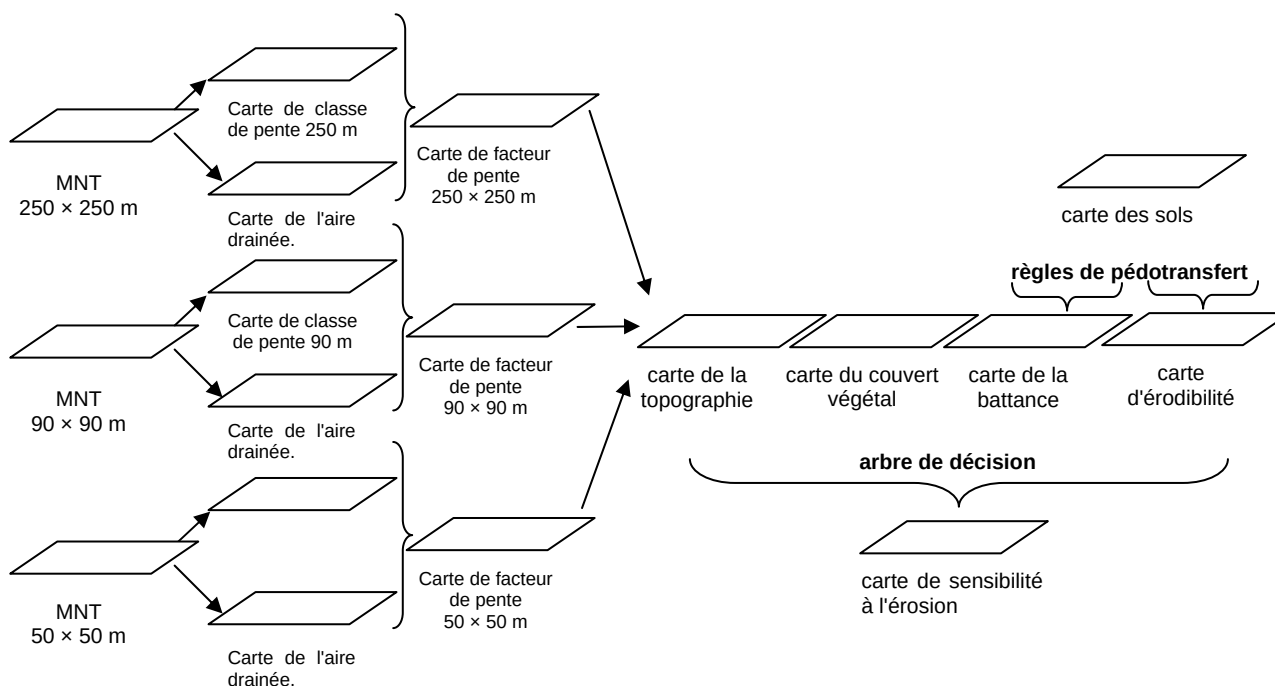


Illustration 6: Présentation de la méthode d'analyse de l'influence de la résolution du MNT

L'Illustration 7 présente la distribution en surfaces des classes de pente pour chacune des résolutions de MNT.

Classe	Pente	Résolution 50 x 50 m		Résolution 90 x 90 m		Résolution 250 x 250 m	
		km ²		km ²		km ²	
1	0 - 1%	971	16%	1258	21%	1589	27%
2	1 – 2%	1582	27%	1431	24%	1574	27%
3	2 – 5%	1923	33%	1874	32%	1868	32%
4	5 – 10%	928	16%	907	15%	752	13%
5	10 – 15%	312	5%	295	5%	114	2%
6	15 – 30%	181	3%	135	2%	4	0%
7	30 – 75%	3	0%	0	0%	0	0%
8	>75%	0	0%	0	0%	0	0%
Total		5901		5901		5901	
Moyenne		2,76		2,65		2,36	

Illustration 7 : Distribution en surfaces des classes de pente pour chacune des résolutions de MNT

Plus la résolution de la carte de MNT est faible, plus la surface classée dans les premières catégories est importante. Ainsi, la surface dans la classe 1 varie de 16% pour une résolution de 50 × 50 m à 27% pour une résolution 250 × 250 m. De plus, la moyenne des classes passe de 2,76 à 2,36 lorsque la résolution de la carte passe de 50 × 50 m à 250 × 250 m. L'utilisation de mailles larges a pour conséquence de lisser les pentes et donc de minimiser l'influence de la classe de pente dans la suite des calculs (sensibilité à l'érosion).

Les cartes ont été soustraites les unes aux autres pour mieux apprécier les différences dues au changement de résolution en chaque lieu (Illustration 8).

Différence :	Carte à la résolution 90 m - carte à la résolution 50 m		Carte à la résolution 250 m - carte à la résolution 90 m		Carte à la résolution 250 m - carte à la résolution 50 m	
	km ²		km ²		km ²	
-5	0	0%	1	0%	2	0%
-4	1	0%	8	0%	9	0%
-3	7	0%	58	1%	73	1%
-2	94	2%	408	7%	478	8%
-1	1247	21%	1748	30%	1984	34%
Aucune	3779	64%	2793	48%	2614	44%
1	695	12%	687	12%	587	10%
2	61	1%	150	3%	114	2%
3	7	0%	24	0%	17	0%
4	1	0%	2	0%	1	0%
5	0	0%	0	0%	0	0%
Total	5892		5878		5880	
Moyenne	-0,10		-0,29		-0,40	

Illustration 8 : Ecart de classes de pente obtenus pour trois résolutions de MNT

En comparant les cartes des pentes issues des MNT à la résolution 250 m et 50 m, seuls 44% de la surface est classé à l'identique. Les cartes des pentes issues des MNT à la résolution 90 m et 50 m possèdent la meilleure correspondance avec 64% de

la surface placés dans la même classe. Même dans le meilleur des cas, la correspondance exacte entre deux cartes n'excède pas 64%. Ceci montre l'importance du choix de la résolution du MNT pour caractériser le facteur de pente.

Influence de la résolution du MNT sur le calcul des pentes et de l'aire drainée

Nous avons ensuite pondéré les classes de pente par l'aire drainée pour obtenir le facteur de pente qui servira au calcul de la carte de sensibilité à l'érosion (Illustration 6). Dans cette étape, la carte initiale d'altitude est corrigée sous ARCMAP pour donner l'aire drainée de chaque pixel. En fonction de l'aire drainée, la classe de pente peut être majorée d'une ou de plusieurs classes. Les facteurs de pente ont été calculés pour les différents MNT étudiés (Illustration 9).

Facteur pente	Résolution de la carte initiale 50 x 50 m		Résolution de la carte initiale 90 x 90 m		Résolution de la carte initiale 250 x 250 m	
	km ²		km ²		km ²	
1	717	12%	871	15%	1296	22%
2	1404	24%	1314	22%	1476	25%
3	1809	31%	1639	28%	1744	30%
4	1190	20%	1250	21%	1004	17%
5	498	8%	548	9%	324	5%
6	225	4%	208	4%	54	1%
7	58	1%	70	1%	2	0%
Total	5901	100%	5901	100%	5901	100%
Moyenne	3,04		3,03		2,62	

Illustration 9 : Répartition de la surface en fonction du facteur de pente obtenu pour trois cartes de MNT aux différentes résolutions

L'apport de l'aire drainée ne change pas la conclusion faite ci-dessus à savoir que l'utilisation de mailles plus étendues a pour conséquence d'augmenter la surface dans les premières catégories.

Comme précédemment, les cartes ont été soustraites les unes aux autres pour faciliter les comparaisons (Illustration 10).

	Carte à la résolution 90 m - carte à la résolution 50 m		Carte à la résolution 250 m - carte à la résolution 90 m		Carte à la résolution 250 m - carte à la résolution 50 m	
Différence de classe	km ²		km ²		km ²	
Au moins 6 classes	0	0%	0	0%	0	0%
-5	0	0%	3	0%	3	0%
-4	1	0%	22	0%	23	0%
-3	17	0%	156	3%	152	3%
-2	218	4%	749	13%	739	13%
-1	1311	22%	1790	30%	1823	31%
0	2832	48%	2044	35%	2039	35%
1	1303	22%	850	14%	863	15%
2	189	3%	216	4%	199	3%
3	18	0%	42	1%	33	1%
4	2	0%	6	0%	4	0%
5	0	0%	0	0%	0	0%
Plus de 6 classes	0	0%	0	0%	0	0%
Total	5892		5878		5880	

Illustration 10 : Ecart entre les classes de pente issues de MNT aux différentes résolutions

L'utilisation de l'aire drainée avec des cartes de MNT aux résolutions plus fines augmente également les différences des cartes des pentes. La surface du département classée identiquement entre les MNT de maille 50 m et 250 m passent de 44% lors de la comparaison des classes de pente (Illustration 8) à 35% lors de la comparaison des facteurs de pente (Illustration 10). Le MNT de maille 50 m et celui de maille 90 m sont toujours les plus proches mais le pourcentage de surface classée de manière identique passe de 64% à 48%. Le MNT étant utilisé pour le calcul des classes de pente et dans le calcul de l'aire drainée, ceci peut expliquer cette diminution de ressemblance.

Influence de la résolution du MNT sur le calcul de la sensibilité à l'érosion

L'étape suivante a consisté au croisement de la carte du facteur de pente avec celle de l'occupation du sol, de l'érodibilité et de la battance pour obtenir la carte de sensibilité à l'érosion (Illustration 6). Dans cette partie de l'étude, la carte Corine Land Cover 1990 à la maille 90 m a été utilisée. Les cartes de battance et d'érodibilité ont une maille de 50 m. Les cartes de sensibilité ont toutes été dressées avec une maille de 50 m pour permettre la comparaison (Illustration 11).

	Résolution de la carte initiale 50 x 50 m		Résolution de la carte initiale 90 x 90 m		Résolution de la carte initiale 250 x 250 m	
Classe	km ²		km ²		km ²	
Aléa très faible	2407	41%	2479	42%	2987	51%
Aléa faible	957	16%	912	16%	822	14%
Aléa moyen	1411	24%	1326	23%	1179	20%
Aléa fort	585	10%	641	11%	371	6%
Aléa très fort	29	0%	27	0%	20	0%
Zones urbanisées	439	7%	439	7%	439	7%
Zones humides	38	1%	38	1%	38	1%
Pas d'information	11	0%	11	0%	10	0%
Total	5878		5874		5865	
Moyenne	2,72		2,72		2,51	

Illustration 11 : Répartition de la surface en fonction des sensibilités à l'érosion obtenues pour trois cartes de MNT aux différentes résolutions

La carte de sensibilité à l'érosion obtenue avec la carte de MNT 250 x 250 m présente plus de la moitié de sa surface en "aléa très faible" tandis que la carte 50 x 50 m indique que seuls 41% de la surface est classés en "aléa très faible". A l'inverse, la surface classée comme "aléa faible" ou "moyen" est plus importante dans les cartes à résolutions 50 x 50 m et 90 x 90 m. La surface en "aléas fort" et "très fort" est quasiment aussi étendue à toutes les échelles de résolution. L'utilisation d'une carte de MNT avec un maillage important diminue la valeur de l'aléa érosion.

Les cartes de sensibilité ont aussi été soustraites deux à deux. Dans les trois cas, la carte de résolution la plus faible a été soustraite à la carte à la résolution la plus haute (

Illustration 12).

	Carte à la résolution 90 m - carte à la résolution 50 m		Carte à la résolution 250 m - carte à la résolution 90 m		Carte à la résolution 250 m - carte à la résolution 50 m	
Différence de classe	km ²		km ²		km ²	
-3	5	0,1%	39	0,7%	40	0,7%
-2	148	2,5%	419	7,1%	427	7,3%
-1	611	10,4%	995	17,0%	995	17,0%
0	4368	74,4%	3848	65,6%	3851	65,7%
1	617	10,5%	399	6,8%	405	6,9%
2	121	2,1%	148	2,5%	135	2,3%
3	3	0,1%	13	0,2%	9	0,2%
Total	5873		5873		5874	

Illustration 12 : Ecart entre les classes de sensibilités à l'érosion issues des trois cartes de MNT aux résolutions différentes

La plus grande similitude existe entre la carte réalisée à partir de la carte de MNT de résolution 50 m et celle réalisée à partir de la carte de MNT de résolution 90 m dans

lesquelles 74,4% de la surface est identique. Les deux autres comparaisons montrent des similitudes de l'ordre de 65,5%. La différence entre cette illustration et l'illustration 9 est nette, puisque la meilleure similitude, lors de la comparaison des facteurs de pente n'était que de 48%. Pour les deux autres comparaisons, les pourcentages de similitude passent de 35% à 65% dans les deux cas. Dans les trois comparaisons, la grande majorité (90 à 95 %) des différences se situe à plus ou moins une classe, c'est-à-dire par exemple, de la surface du département est classée en "aléa moyen" dans une carte et "aléa faible" dans une autre. Les différences de plus de trois classes, comme par exemple une surface classée en "aléa moyen" dans une carte de sensibilité et en "aléa très fort" dans une autre, sont inférieures à 1%. Aucune différence de plus de quatre classes n'a été calculée.

Conclusion partielle : impact de la résolution du MNT

L'utilisation de grandes mailles pour la carte de MNT a tendance à réduire la valeur de l'aléa érosion en classant une surface plus importante dans les classes les moins risquées pour le facteur de pente (55% de modification) et donc aussi pour la sensibilité (35% de modification). Cette première conclusion tend à justifier l'utilisation d'un modèle numérique de terrain à une résolution de 50 m pour ne pas sous-estimer des zones présentant un aléa fort mais de faible étendue géographique.

2.1.2. Influence de l'intégration du facteur « aire drainée »

Une des améliorations récentes du modèle a consisté en la prise en considération de l'aire drainée en plus de la classe de pente. Cette amélioration permet de prendre en compte la synergie existante entre les pentes et les aires drainées. Dans cette partie de l'étude, différentes méthodes de calcul de l'aire drainée ont été comparées entre elles et avec une carte ne prenant que la pente en compte. Cette démarche a permis de visualiser les différences qu'engendre le calcul de l'aire drainée et de savoir si ce calcul est de fait nécessaire.

Plusieurs méthodes ont été mises au point pour tenir compte de l'influence des pixels "amonts" sur les pixels "avals".

La première méthode consiste en la re-classification de la classe de pente d'un pixel en fonction de la surface de l'aire drainée en amont. Par exemple pour un pixel de classe de pente 6 surmonté d'une aire drainée de plus de 20 ha, la classe de pente est majorée de 2 classes. Des cas intermédiaires sont prévus en fonction de la taille de l'aire drainée et de la classe de pente. A aire drainée égale, les pentes modérées sont en effet moins sensibles à l'érosion que les pentes raides.

La deuxième méthode utilisée a été développée conjointement par l'INRA et le BRGM et prend en compte, en plus de la surface, l'occupation des sols et la battance de chaque pixel de l'aire drainée amont. Cette méthode permet de distinguer deux pixels dont l'un aurait une aire drainée de 20 ha de forêts tandis que l'autre aurait une aire drainée de 20 ha occupée par des parkings. Finalement, cette démarche est assez proche de la première dans le sens où la synergie pente/surface est prise en

considération. La différence provient de la taille de la surface drainée qui n'est plus la seule variable prise en compte. L'aire drainée calculée par la deuxième méthode est appelée aire drainée pondérée.

Dans le cadre de cette partie, trois cartes ont été comparées (Illustration 13)

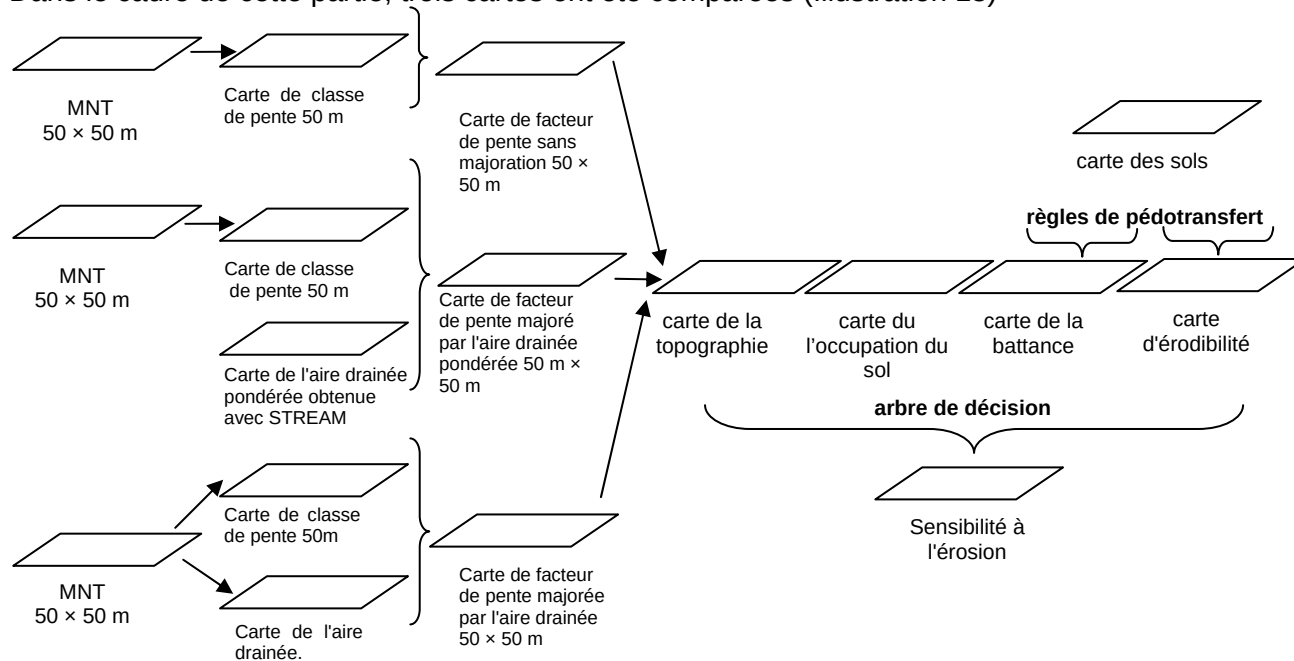


Illustration 13 : Présentation de la méthode d'analyse de l'influence du calcul de l'aire drainée

La première méthode est celle du facteur de pente sans majoration. Dans la seconde méthode, la majoration des classes de pente a été réalisée sous ARCMAP. Le MNT a servi à la fois au calcul de la carte des classes de pente et à celui de la carte de l'aire drainée. La carte de l'aire drainée d'ARCMAP (Illustration 14) a ensuite servi à majorer la carte des classes de pente. Les classes de pente ont ensuite été re-classifiées pour donner les facteurs de pente qui sont utilisés dans le calcul de la sensibilité à l'érosion. Pour la troisième méthode, la pondération de l'aire drainée a été réalisée grâce au modèle STREAM (Illustration 15) à partir des données d'occupation des sols et de la carte de la battance de l'Oise. Le résultat de cette méthode est une carte sur laquelle chaque pixel est classé dans une des trois catégories possibles. La catégorie 1 n'amène aucune majoration tandis que la catégorie 3 amène toujours une majoration. La deuxième catégorie amène une majoration de la classe de pente uniquement pour les pentes aux valeurs les plus élevées.



Illustration 14 : Carte du facteur « aire drainée ».

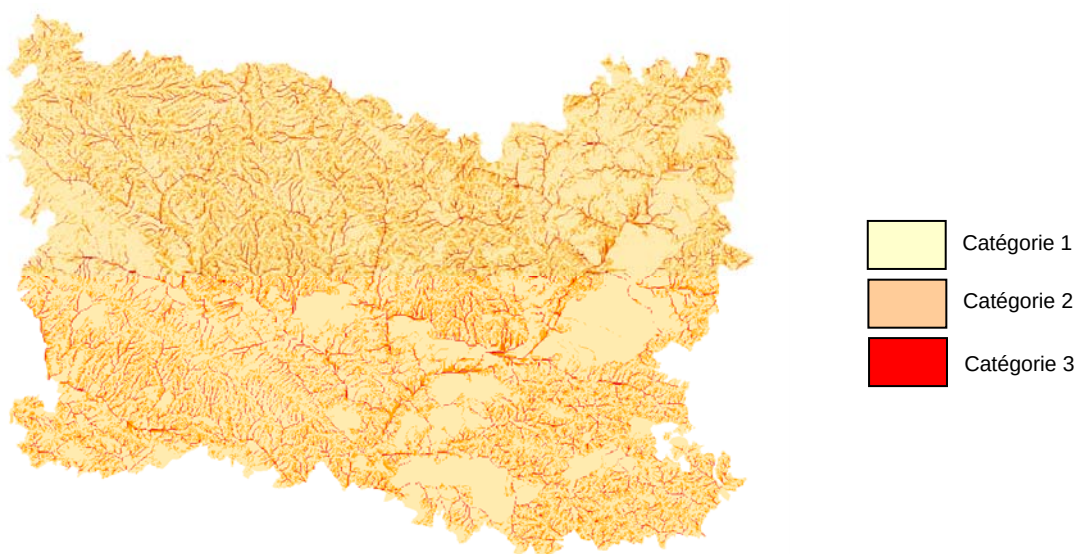


Illustration 15 : Carte du facteur « aire drainée pondérée » obtenue par le logiciel STREAM

La première étape de cette partie de l'étude consiste en la comparaison des cartes de facteur de pente après la majoration par l'aire drainée ou par l'aire drainée pondérée (Illustration 16). Pour la carte où l'aire drainée n'est pas prise en compte, la surface dans chaque catégorie de facteur de pente est égale à celle de la classe de pente, seul le libellé de la classe change. Dans les trois cas, la valeur de la maille de la carte est 50 m puisqu'il s'agit de la résolution de la carte originale de MNT.

Facteur pente	Sans majoration		Majoration par l'aire drainée		Majoration par l'aire drainée pondérée	
	km²		km²		km²	
1	971	16%	837	14%	802	14%
2	1582	27%	1510	26%	1408	24%
3	1923	33%	1917	32%	1878	32%
4	928	16%	1054	18%	1169	20%
5	312	5%	374	6%	419	7%
6	181	3%	194	3%	201	3%
7	3	0%	16	0%	23	0%
Total	5901		5901		5899	
Moyenne	2,76		3,00		3,43	

Illustration 16 : Répartition en surface des différentes classes de sensibilité en fonction du facteur de pente obtenu à partir de différentes méthodes de calcul de l'aire drainée

L'utilisation ou non de la majoration par l'aire drainée n'entraîne pas un grand changement de la classification. La carte sans majoration par l'aire drainée contient la plus grande surface dans les classes les plus faibles. La carte de facteur de pente majoré par l'aire drainée pondérée a en moyenne une surface plus importante classée dans les catégories les plus élevées (moyenne de 3,43 contre 3,00 avec l'aire drainée)

Les cartes de facteur de pente obtenu sans majoration et avec la majoration par l'aire drainée pondérée ont été soustraites à la carte de facteur de pente obtenue avec la majoration par l'aire drainée non pondérée pour mieux visualiser les différences entre les cartes (Illustration 17).

Différence de classe	Carte avec l'aire drainée – carte sans aire drainée		Carte avec l'aire drainée – carte avec l'aire drainée pondérée	
	km²		km²	
Au moins 4	0	0%	0	0%
-3	0	0%	0	0%
-2	0	0%	0	0%
-1	0	0%	122	2%
0	4230	72%	5089	86%
1	1671	28%	688	12%
2	0	0%	0	0%
3	0	0%	0	0%
Plus de 4	0	0%	0	0%
Total	5901		5899	

Illustration 17 : Ecart de classes entre les facteurs de pente obtenus à partir de différentes méthodes de calcul de l'aire drainée

La soustraction de la carte de facteur de pente avec l'aire drainée à la carte de facteur de pente sans aire drainée indique que pour 28% des surfaces, le facteur pente est majoré d'une classe, invariant pour 72% des surfaces. La surface avec un classement

identique est de 86% entre la carte de facteur de pente avec l'aire drainée et la carte de facteur de pente avec l'aire drainée pondérée. Le reste de la surface diffère d'un classement de plus ou moins une catégorie. Ceci tendrait à montrer que l'action de l'aire drainée pondérée est assez minime sur la carte de facteur de pente. Il faut néanmoins prendre cette conclusion avec précaution. Le département de l'Oise ayant peu de surface dans les classes de pente supérieures à 6, peu de majorations ont été effectuées. Dans d'autres départements aux reliefs plus marqués, des différences plus nombreuses pourront être visibles entre les cartes de facteurs de pente dressées avec ces méthodes de calcul de l'aire drainée.

Les trois cartes de facteurs de pente ont ensuite servi aux calculs de la sensibilité à l'érosion (Illustration 13). La carte de l'occupation du sol est celle de Corine Land Cover 1990 à la maille 90 m. Les cartes d'érodibilité et de la battance sont issues de la même carte des sols et ont une maille de 50 m. Les trois cartes obtenues ont des mailles de 50 m (Illustration 18).

	Carte de facteur de pente majoré par l'aire drainée		Carte de facteur de pente non majoré		Carte de facteur de pente majoré par l'aire drainée pondérée	
Classe	km ²		km ²		km ²	
Aléa très faible	2536	43%	2624	45%	2473	42%
Aléa faible	991	17%	1033	18%	918	16%
Aléa moyen	1432	24%	1406	24%	1429	24%
Aléa fort	404	7%	316	5%	539	9%
Aléa très fort	26	0%	23	0%	29	0%
Zones urbanisées	439	7%	439	7%	439	7%
Zones humides	38	1%	38	1%	38	1%
Pas d'information	11	0%	11	0%	11	0%
Total	5878		5891		5876	

Illustration 18 : Répartition de la surface en fonction des sensibilités à l'érosion obtenues à partir de différentes méthodes de calcul de l'aire drainée

L'analyse de cette illustration conforte les remarques faites précédemment. La carte de sensibilité réalisée avec la carte du facteur de pente non majoré présente 45% de la surface avec un "aléa très faible" et la carte de sensibilité calculée avec la carte de facteur de pente majoré par l'aire drainée pondérée n'en présente que 42%. La carte de sensibilité utilisant la carte de facteur de pente majoré par l'aire drainée a presque la surface en catégorie 1 (43%). La carte de sensibilité réalisée avec l'aire drainée pondérée contient 9% de la surface classés dans la catégorie d'aléa fort tandis que la carte de sensibilité réalisée sans majoration du facteur de pente n'en a que 5%. L'utilisation de l'aire drainée pondérée a augmenté l'aléa moyen de la carte par rapport à l'utilisation de l'aire drainée.

Malgré les différences relevées, les répartitions des classes d'aléa entre les trois cartes étudiées semblent assez semblables. La carte de sensibilité dressée à partir de la

carte de l'aire drainée a été soustraite aux deux autres cartes pour mieux visualiser les différences entre elles (Illustration 19).

Différence de classe	Carte avec aire drainée – carte sans aire drainée		Carte avec aire drainée – carte avec aire drainée pondérée	
	km ²		km ²	
-3	0	0,0%	0	0,0%
-2	0	0,0%	7	0,1%
-1	0	0,0%	37	0,6%
0	5125	87,2%	5655	96,2%
1	693	11,8%	161	2,7%
2	58	1,0%	16	0,3%
3	0	0,0%	0	0,0%
Total	5876	100%	5876	100%

Illustration 19 : Ecart entre les classes de sensibilité issues des différentes méthodes de calcul de l'aire drainée

La différence entre les cartes de facteur de pente avec l'aire drainée et l'aire drainée pondérée est très faible. Entre la carte de sensibilité obtenue avec la majoration par l'aire drainée et celle obtenue sans majoration, 87,2% de la surface ont été classés dans la même catégorie d'aléa. Les écarts de classification de plus ou moins une classe représentent 11,8% de la surface. Ainsi moins de 2% de la surface ont des différences supérieures à plus d'une classe, par exemple classés en "aléa moyen" dans une carte et "aléa fort" dans l'autre. Entre les deux cartes prenant en compte l'aire drainée, 96,2% de la surface sont dans la même classe. 2,7% de la surface n'ont qu'une différence d'une classe, tandis que moins de 1% de la surface ont des différences supérieures à une classe.

Cette illustration confirme aussi la conclusion du paragraphe précédent (2.1.1) selon laquelle l'influence du facteur de pente dans l'Oise est réduite. En effet, les similitudes des cartes de facteur de pente étaient de 65-70% mais les similitudes des cartes de sensibilité à l'érosion sont de plus de 85%.

Conclusion partielle : Influence du calcul de l'aire drainée

Le calcul de l'aire drainée apporte donc de légères modifications puisque les différences entre les cartes de sensibilité faites avec et sans la prise en compte de l'aire drainée diffère d'un peu moins de 15%.

De plus, le fait que le calcul par ARCMAP ne demande pas d'information supplémentaire pour l'utilisateur du modèle est tout de même un argument en faveur de l'utilisation de l'aire drainée. De plus, l'analyse de la carte de l'aire drainée montre qu'une partie (environ 18,7%) de l'Oise est en catégorie 2, c'est-à-dire susceptible d'être majorée si la pente était suffisante. Si cette majoration est assez légère dans l'Oise, il faut rappeler que ce département a un relief faiblement escarpé. L'utilisation de l'aire drainée sera peut-être plus visible dans d'autres départements.

Une prise de position sur l'utilisation de l'aire drainée pondérée calculée par le modèle STREAM reste plus difficile, car si aucune donnée supplémentaire n'est nécessaire, il faut quand même récupérer le logiciel et le prendre en main. Pourtant, la carte de l'aire drainée pondérée par STREAM met en avant de nombreuses zones sensibles du point de vue de l'aire drainée mais les pentes douces du département n'ont pas permis la transformation des zones sensibles du point de vue de l'aire drainée en zones sensibles du point de vue facteur de pente.

Pour résumé, si dans l'Oise les cartes de sensibilité avec aire drainée et aire drainée pondérée sont similaires, dans un autre département avec un relief plus marqué, la différence induite par l'utilisation de l'aire drainée pondérée sera certainement plus importante.

2.2. INFLUENCE DU SOL

Dans le modèle étudié, l'influence du sol joue sur deux facteurs, l'érodibilité et la battance. Chacun de ces deux facteurs a été étudié séparément.

2.2.1. Influence de l'érodibilité

L'érodibilité représente la capacité du sol à s'éroder. Elle est déterminée à partir de règles de pédotransfert appliquées à la nature des roches et des matériaux composant les horizons superficiels et profonds du sol.

Dans le modèle, l'érodibilité est notée de 1 à 5, la classe 1 représentant un sol peu susceptible de s'éroder. Deux cartes d'érodibilité ont été comparées pour mieux comprendre l'influence de ce facteur (Illustration 20). La première, au 1/250 000, a été calculée à partir d'une carte des sols provenant d'une étude conjointe ISAB/INRA. La seconde, au 1/1 000 000, a été calculée à partir de données des sols de la carte nationale.

Les deux cartes ont été ré-échantillonnées à une maille de 50 m pour faciliter la comparaison.

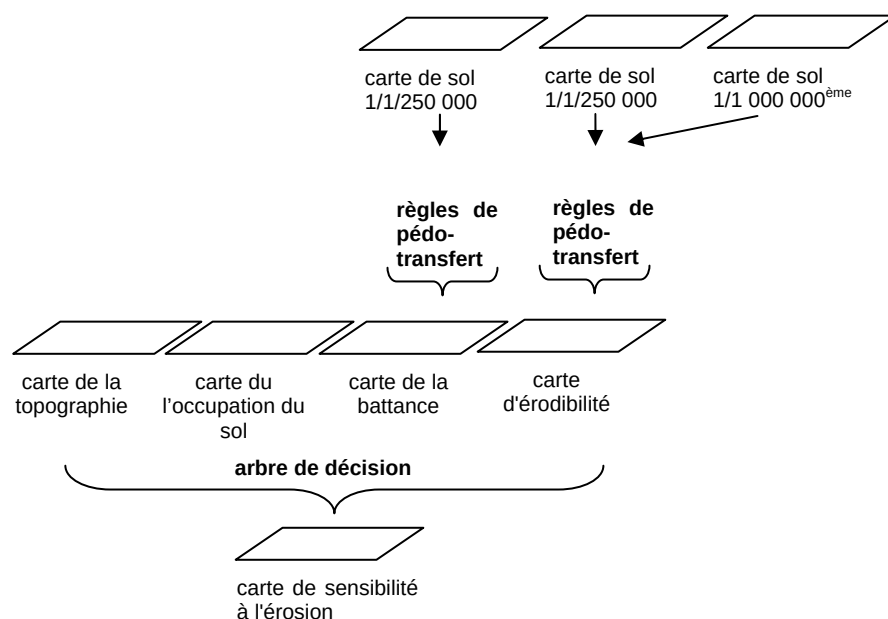


Illustration 20 : Présentation de la méthode d'analyse de l'influence de l'érodibilité

La première étape de cette partie de l'étude a consisté en la comparaison des deux cartes d'érodibilité (Illustration 21).

Classe	Carte de d'érodibilité au 1/250 000		Carte de d'érodibilité au 1/1 000 000	
	km ²		km ²	
1	46	1%	39	1%
2	251	4%	1374	23%
3	1397	24%	6	0%
4	4088	71%	3438	59%
5	0	0%	1008	17%
Total	5782		5864	
Moyenne	3,65		3,68	
Ecart type	0,60		1,03	

Illustration 21 : Répartition de la surface en fonction de la carte des sols utilisée pour calculer la carte d'érodibilité

Les différences de répartition des surfaces en fonction des catégories sont importantes. Dans les deux cas, la plus grande surface se situe dans la classe 4. Pour la carte au 1/250 000, 71% de la surface sont présents dans cette catégorie tandis que dans la carte au 1/1 000 000, seuls 59% de la surface y sont classés. Dans la carte au 1/250 000, la catégorie 5 n'est pas présente et 24% de la surface sont dans la catégorie 3. A l'inverse dans l'autre carte, 17% de la surface sont dans la catégorie 5 et la catégorie 3 est absente.

La seule analyse de l'illustration 21 indique une très grande différence des deux cartes d'érodibilité. La carte au 1/1 000 000 a été soustraite à la carte au 1/250 000 pour mieux visualiser ces différences (Illustration 22 et Illustration 23).

Carte d'érodibilité au 1/250 000 - carte d'érodibilité au 1/1 000 000		
Différence de classe	km ²	
-5	6	0%
-4	60	1%
-3	73	1%
-2	267	5%
-1	1735	29%
0	2474	42%
1	377	6%
2	872	15%
3	20	0%
4	0	0%
5	0	0%
Total	5883	
Moyenne	-0,10	

Illustration 22 : Ecart entre les classes d'érodibilité en fonction de la carte des sols utilisée

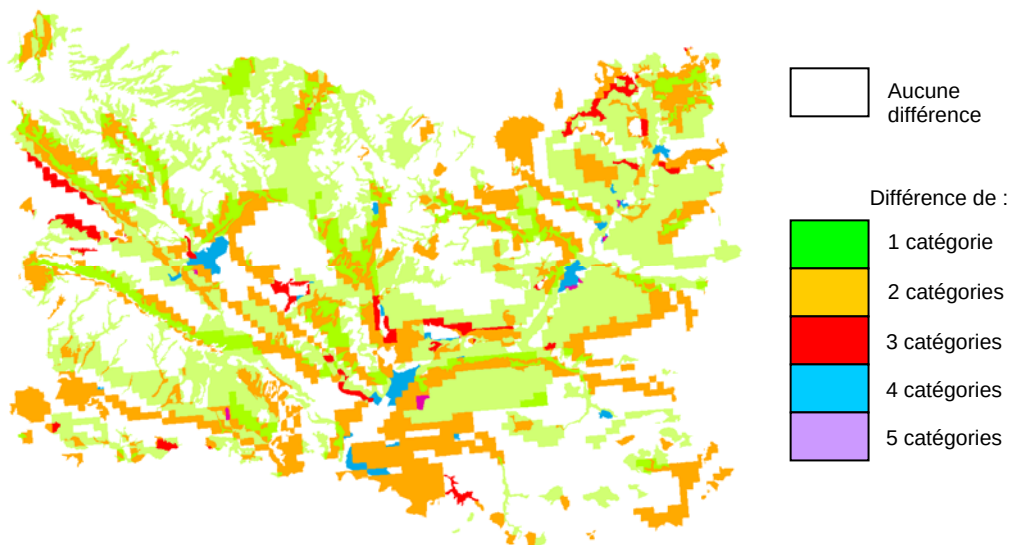


Illustration 23 : Spatialisation des différences entre la carte d'érodibilité au 1/250 000 et la carte d'érodibilité au 1/1 000 000

Moins de la moitié (42%) de la surface est classée de manière identique dans les deux cartes. 35% ont plus ou moins une classe de différence et donc 23% de la surface sont classés à plus d'une catégorie de différence. Une faible surface (moins de 1%) est même classée à 5 catégories de différence, c'est-à-dire une érodibilité minimale sur une carte et une érodibilité maximale sur l'autre. La moyenne négative de l'illustration 22 indique que la carte au 1/1 000 000 a en moyenne une plus grande surface classée dans les catégories élevées et a donc tendance à augmenter l'aléa érosion par rapport à la carte au 1/250 000.

Les deux cartes d'érodibilité ont été utilisées pour calculer la sensibilité à l'érosion (Illustration 24). L'occupation du sol est déterminée grâce à la carte Corine Land Cover de maille 90 m. Le MNT 90 m a servi pour le calcul du facteur de pente. Ce dernier a été majoré par l'aire drainée. La battance provenant de la carte des sols au 1/250 000 a été utilisée dans les deux cas.

Classe	Carte de sensibilité issue de la carte au 1/250 000		Carte de sensibilité issue de la carte au 1/1 000 000	
	km ²		km ²	
Aléa très faible	2635	45%	2648	45%
Aléa faible	920	16%	1156	20%
Aléa moyen	1345	23%	1111	19%
Aléa fort	460	8%	455	8%
Aléa très fort	24	0%	17	0%
Zones urbanisées	439	7%	439	7%
Zones humides	38	1%	38	1%
Pas d'information	11	0%	10	0%
Total	5873	100%	5873	100%
Moyenne	2,63		2,58	

Illustration 24 : Répartition en surface des classes de sensibilité en fonction de la carte d'érodibilité utilisée

Contrairement à l'analyse précédente, les deux cartes semblent maintenant très semblables. La carte de sensibilité réalisée à partir de la carte d'érodibilité au 1/1 000 000 a été soustraite à la carte de sensibilité issue de la carte d'érodibilité au 1/250 000 pour mieux visualiser les différences entre les cartes (Illustration 25).

Différence de classe	km ²	
Au moins 6	0	0,0%
-5	0	0,0%
-4	0	0,0%
-3	0	0,0%
-2	9	0,2%
-1	210	3,6%
Aucune	5147	87,6%
1	506	8,6%
2	0	0,0%
3	0	0,0%
4	0	0,0%
5	0	0,0%
Plus de 6	1	0,0%
Total	5873	
Moyenne	0,05	

Illustration 25 : Ecart de classes de sensibilité en fonction de la carte de d'érodibilité au 1/1000000 ou au 1/250000

La comparaison entre l'illustration 25 et l'illustration 22 montre la faible influence du facteur érodibilité sur le processus de calcul de la sensibilité à l'érosion. En effet,

l'illustration 25 montre que 87,6% de la surface sont maintenant classés de manière identique dans les deux cartes de sensibilité.

Conclusion partielle : Influence de l'érodibilité

La première conclusion est que les deux cartes de sol au 1/250000 et au 1/1000000 amènent à des cartes d'érodibilités qui présentent énormément de différence. Au niveau du calcul de la sensibilité les différences sont atténuées, et la résolution de la carte des sols servant à dresser la carte d'érodibilité ne semble pas jouer un rôle prépondérant car au final la sensibilité dépend assez faiblement du facteur d'érodibilité.

2.2.2. Influence de la battance

La battance résulte de l'action des eaux de pluie sur les agrégats du sol. Ces derniers sont détruits et dispersés sous l'action de l'eau, provoquant un litage qui, lors de la dessiccation, provoque une croûte. La croûte de battance (épaisse de un à deux centimètres) des sols limoneux amorce leur érosion, l'eau de pluie ruisselant en surface au lieu de percoler. Comme dans le cas de l'érodibilité, la susceptibilité à la battance est calculée par des règles de pédo-transfert à partir d'une carte des sols. La battance se divise en cinq classes allant de 1 à 5. La classe 1 représente un sol peu sensible à la battance. Une carte de battance au 1/250 000 et une carte au 1/1 000 000 ont été utilisées de la même façon que lors de l'étude de l'influence de l'érodibilité. La première étape de l'analyse a consisté en une comparaison de ces cartes de battance (Illustration 26)

Différence de classe :	Carte de battance au 1/250 000		Carte de battance au 1/1 000 000	
	km²		km²	
1	58	1%	38	1%
2	929	16%	97	2%
3	1899	33%	2777	47%
4	2818	49%	0	0%
5	79	1%	2962	50%
Total	5782		5874	
Moyenne	3,33		3,98	

Illustration 26 : Répartition de la surface en fonction de la carte des sols utilisée pour calculer la carte de la battance

Dans la carte de battance au 1/250 000, la plus grande surface est classée dans la catégorie 4 tandis que dans la carte de la battance au 1/1 000 000, cette classe n'existe pas. A l'inverse, la moitié (50%) de la surface de la carte au 1/1 000 000 est placée dans la catégorie 5 alors que cette dernière ne recueille qu'1% de la surface dans la carte au 1/250 000. Les deux cartes obtenues sont donc très différentes. La carte au 1/1 000 000 a été soustraite à la carte au 1/250 000 pour mieux se visualiser les écarts entre ces deux cartes (Illustration 27).

Carte de battance au 1/250000 - carte de battance au 1/1 000 000		
Différence de classe :	km ²	
-5	9	0%
-4	28	0%
-3	374	6%
-2	930	16%
-1	2288	39%
Aucune différence	1049	18%
1	1127	19%
2	66	1%
3	12	0%
4	0	0%
5	0	0%
Total	5883	

Illustration 27 : Ecart entre les classes de battance en fonction de la carte de sol utilisée

Peu de surface (18%) est classée de manière identique dans les deux cartes. La majorité (58%) de la surface est placée à plus ou moins une classe d'écart. 24% de la surface est donc placée à plus de deux classes de différence. L'utilisation de la carte au 1/1 000 000 a tendance à augmenter les surfaces classées avec une sensibilité à la battance plus élevée.

Les cartes de sensibilité à l'érosion ont été calculées pour les deux cartes étudiées (Illustration 28). La carte Corine Land Cover de maille 90 m a été utilisée pour l'occupation du sol. Le MNT 90 m a servi pour le calcul du facteur de pente. Ce dernier a été majoré par l'aire drainée. L'érodibilité provenant de la carte des sols au 1/250 000 a été utilisée dans les deux cas.

Classe	Carte de sensibilité issue de la carte de battance au 1/250 000		Carte de sensibilité issue de la carte de battance au 1/1 000 000	
	km ²		km ²	
Aléa très faible	2635	45%	2180	37%
Aléa faible	920	16%	658	11%
Aléa moyen	1345	23%	1368	23%
Aléa fort	460	8%	524	9%
Aléa très fort	24	0%	662	11%
Zones urbanisées	439	7%	439	7%
Zones humides	38	1%	38	1%
Pas d'information	11	0%	4	0%
Total	5873		5873	
Moyenne	2,63		3,05	

Illustration 28 : Répartition en surfaces des classes de sensibilité en fonction de la carte de la battance utilisée

Les cartes de sensibilité à l'érosion calculées à partir des différentes cartes de la battance diffèrent moins que les cartes de battance elles-mêmes. Néanmoins, dans la carte de sensibilité réalisée à partir de la carte de battance au 1/1 000 000, 11% de la surface sont classés dans la catégorie 5 (aléa très fort), catégorie non représentée dans la seconde carte. De plus, la carte de sensibilité issue de la carte de battance au 1/1 000 000 donne en moyenne une classe d'aléa supérieure à celle de l'autre carte de sensibilité (3,05 contre 2,63).

Les deux cartes de sensibilité ont été comparées pixel à pixel en soustrayant la carte de sensibilité réalisée à partir de la carte de battance au 1/1 000 000 à celle issue de la carte de battance au 1/250 000 (

Illustration 29 et Illustration 30)

Carte sensibilité issues de la carte de la battance au 1/250 000 - carte de sensibilité issue de la carte de la battance au 1/1 000 000		
Différence de classe	km ²	
-3	44	0,7%
-2	632	10,8%
-1	1495	25,5%
Aucune différence	3353	57,1%
1		
2	321	5,5%
3	21	0,4%
Total	5866	
Moyenne	-0,42	

Illustration 29 : Ecart entre les classes de sensibilité en fonction de la carte de battance utilisée

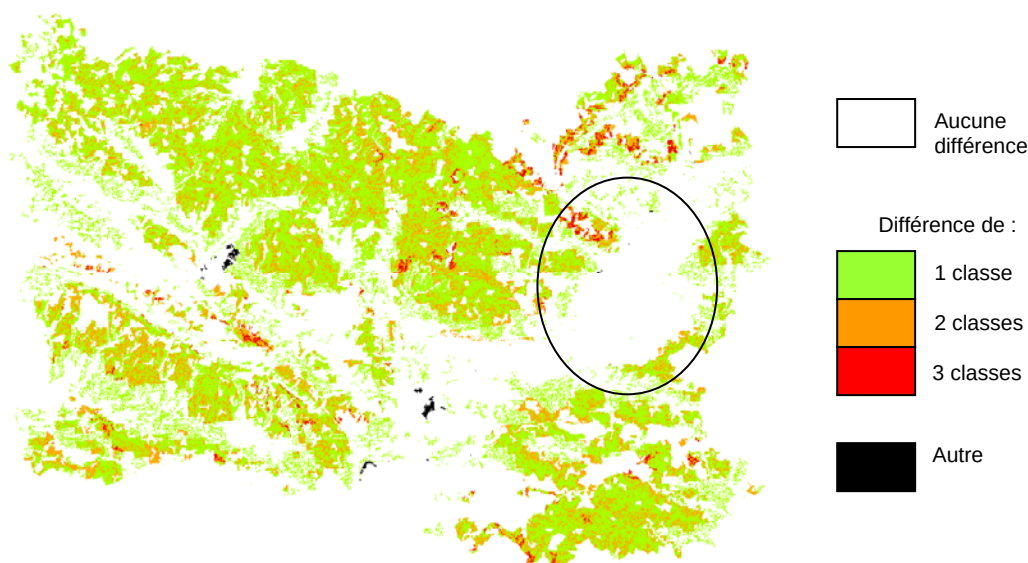


Illustration 30 : Spatialisation des différences entre les deux cartes de sensibilité issues des deux cartes de battance.

La comparaison entre les cartes de sensibilité dressées à partir des deux cartes de la battance aux échelles différentes indique que 57,1% des surfaces sont classées de façon identique. Ce pourcentage montre l'importance du choix de la carte de la battance dans le calcul de la sensibilité. Les écarts en surface de deux classes ou plus sont peu élevés (11,9%). Le modèle a tendance à réduire les écarts extrêmes et à concentrer les différences à une ou deux classes maximum.

Lors de la comparaison des cartes de battance (Illustration 27), 18% de la surface étaient classés de façon identique dans les deux cartes alors que la comparaison des cartes de sensibilité (

Illustration 29) indique que 57,1% de la surface sont identiques.

Conclusion partielle : Influence de la battance

Comparativement à l'érodibilité, le choix de l'échelle de la carte des sols pour l'estimation de la battance a plus d'importance lors de la détermination des classes de l'aléa érosion. En effet, les cartes de sensibilité issues des cartes de la battance provenant elles-mêmes de deux cartes de sols différentes restent dissemblables alors que les cartes de sensibilité faites à partir des deux cartes d'érodibilité montrent peu de différences. La définition de la carte de battance est importante pour le modèle et la meilleure définition est à rechercher. On note encore ici la très grande différence existant entre les deux cartes de sols comparées.

2.2.3. Influence de la battance et de l'érodibilité

Dans les deux paragraphes précédents (2.2.1 et 2.2.2), l'action de la battance et de l'érodibilité a été étudiée séparément. Dans les cartes de sensibilité, l'érodibilité et la battance ont été maintenue constante chacune leur tour pour apprécier l'influence de chacun des paramètres des sols. Dans la pratique, l'utilisateur n'a généralement accès qu'à une seule carte des sols et donc les cartes d'érodibilité et de battance ont généralement la même précision.

Une carte de sensibilité a été dressée cette fois en utilisant la carte de la battance et la carte d'érodibilité au 1/1 000 000 dans les deux cas. Corine Land Cover 1990 et le facteur de pente issu du MNT 90 m majoré par l'aire drainée ont aussi été utilisés. En guise de référence, une seconde carte de sensibilité utilisant les cartes de la battance et de l'érodibilité au 1/250 000 ainsi que Corine Land Cover 1990 et le facteur de pente issu du MNT 90 m majoré par l'aire drainée a aussi été dressée. La première étape de cette partie de l'étude a consisté en la comparaison de ces deux cartes (Illustration 31).

	Carte de sensibilité issue des cartes d'érodibilité et de la battance au 1/250 000		Carte de sensibilité issue des cartes d'érodibilité et de la battance au 1/1 000 000	
Classe	km ²		km ²	
Aléa très faible	2635	45%	2222	38%
Aléa faible	920	16%	935	16%
Aléa moyen	1345	23%	1027	18%
Aléa fort	460	8%	135	2%
Aléa très fort	24	0%	1071	18%
Zones urbanisées	439	7%	439	7%
Zones humides	38	1%	38	1%
Pas d'information	11	0%	0	0%
Total	5873		5868	
Moyenne	2,63		3,05	

Illustration 31 : Répartition en surface des classes de sensibilité en fonction de la carte des sols utilisée pour calculer les cartes d'érodibilité et de la battance

La différence la plus importante entre ces deux cartes est certainement la présence de 18% de la surface dans la catégorie "aléa très fort" dans la carte de sensibilité issue de la carte des sols au 1/1 000 000 alors que cette catégorie recueille moins d'1% de la surface dans la carte de sensibilité réalisée à partir de la carte des sols au 1/250 000. Cette carte de sensibilité ressemble beaucoup à celle déjà calculée avec la carte de battance au 1/1 000 000 et la carte d'érodibilité au 1/250 000, notamment avec la présence d'une large surface dans la catégorie "aléa très fort".

Ceci vient confirmer une des affirmations précédentes : la battance semble avoir dans le département de l'Oise plus d'influence que l'érodibilité dans la détermination des classes de sensibilité. Il semble même que l'ajout de la carte de l'érodibilité au 1/1 000 000 ait peu d'influence sur la carte finale comme le montre l'étude des

moyennes. Dans l'illustration 24, la moyenne de la carte de sensibilité issue de la carte d'érodibilité au 1/1 000 000 est de 2,58. Dans l'illustration 28, la moyenne de la carte de sensibilité issue de la carte battance au 1/1 000 000 est de 3,05. Dans cette illustration (Illustration 31), la moyenne des classes est de 3,05, la faible moyenne due à la carte d'érodibilité n'a pas réduit la moyenne de la carte de battance.

La carte de sensibilité de référence a été soustraite à celle issue de la carte des sols au 1/1 000 000 pour améliorer la visualisation des différences (Illustration 32 et Illustration 33).

Carte de sensibilité issue de la carte de battance et d'érodibilité au 1/250 000 - carte de sensibilité issue de la carte de battance et d'érodibilité au 1/1 000 000		
Différence de classe	km ²	
-4	20	0,3%
-3	33	0,6%
-2	992	16,9%
-1	1245	21,2%
Aucune différence	2850	48,6%
1	613	10,5%
2	94	1,6%
3	5	0,1%
4	0	0,0%
5	0	0,0%
Plus de 6	11	0,2%
Total	5864	
Moyenne	-0,42	

Illustration 32 : Ecart entre les classes de sensibilité en fonction de la carte des sols utilisée pour calculer la carte d'érodibilité et de battance

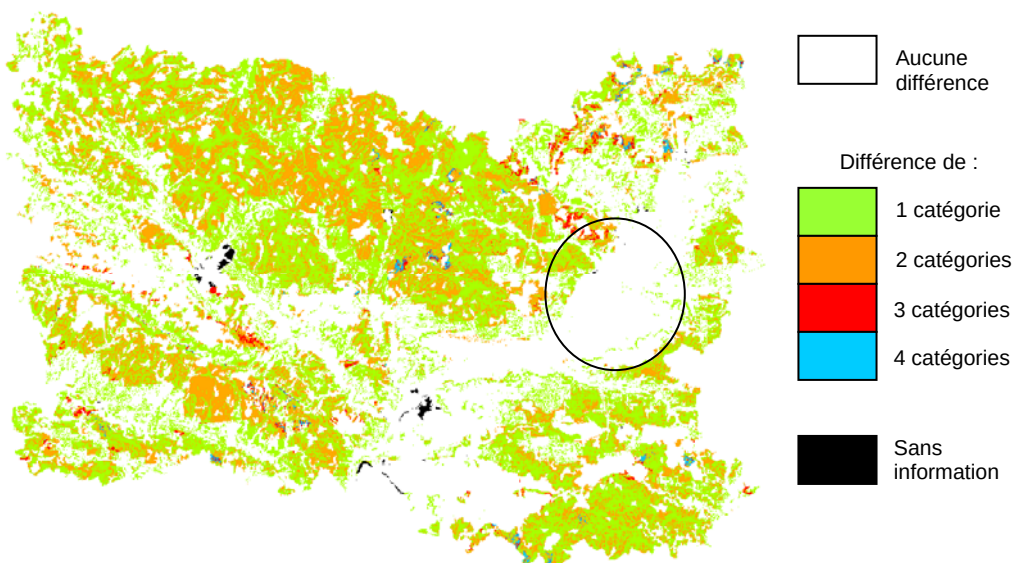


Illustration 33 : Spatialisation des différences de classement de deux cartes de sensibilité à l'érosion issues de cartes de la battance et d'érodibilité différentes.

L'utilisation des cartes de battance et d'érodibilité au 1/1 000 000 conduit à dresser une carte très différente de la carte de sensibilité issue d'une carte de sol au 1/250 000. Seuls 48,6% de la surface sont classés de façon identique dans les deux cartes de sensibilité. Cette surface est principalement située dans la zone boisée de l'Est du département où le couvert forestier réduit fortement l'importance des autres facteurs (cercle sur l'illustration 33).

Conclusion partielle : Influence de la carte de sol

Ces comparaisons indiquent l'importance de la carte des sols lors du calcul de la sensibilité à l'érosion dans l'Oise. L'utilisation d'une carte à l'échelle nationale ou européenne (1/1 000 000) est à éviter car cela peut changer le classement de plus de la moitié de la surface (Illustration 32). L'utilisation de carte de sol à haute résolution (1/250 000) est à rechercher.

2.3. INFLUENCE DU FACTEUR DE L'OCCUPATION DU SOL

Le dernier facteur ayant une action sur la sensibilité des sols à l'érosion est l'occupation du sol. Pour le département de l'Oise, la seule carte disponible de l'occupation du sol est Corine Land Cover (CLC).

Pour pouvoir effectuer une étude de sensibilité, la carte du Corine Land Cover 1990 a été modifiée puis comparée avec la carte du CLC 1990 non modifiée. La modification du CLC 1990 a consisté à reclasser des zones de terres arables en zones de prairies grâce au logiciel ARCMAP. La classe "terres arables" a été choisie car elle représente la plus grande partie de la surface du département de l'Oise. La nouvelle carte obtenue a le même maillage que la carte initiale du CLC (90 m × 90 m). Les libellés des types de couverts végétaux ne sont pas les dénominations originales du Corine Land Cover (43 catégories) mais celles utilisées par le modèle (7 catégories). Après la transformation de la carte de CLC, la carte originale et la carte modifiée ont été comparées (Illustration 34).

Classe	Carte de CLC 1990 pour le département de l'Oise		Carte de CLC 1990 modifiée pour l'Oise.	
	km ²		km ²	
Terrain artificialisés	413	7%	440	7%
Terres Arables	3482	59%	0	0%
Culture Permanentes	0	0%	2	0%
Prairies et pâturages	413	7%	3895	66%
Zones agricoles hétérogènes	236	4%	225	4%
Forêts	1298	22%	1301	22%
Zones d'eau libre	59	1%	38	1%

Total	5 901		5901	
-------	-------	--	------	--

Illustration 34 : Répartition de la surface des cartes de l'occupation du sol en fonction des deux différentes cartes de CLC

Les terres arables qui représentaient 59% de l'occupation du sol dans la carte initiale sont maintenant absentes de la carte de CLC modifiée et les zones de prairies et de pâturages qui ne représentaient que 7% de l'occupation du sol représentent 66% de l'occupation du sol de la carte CLC modifiée.

Deux cartes de sensibilité à l'érosion ont été calculées sur la base du CLC 1990 et du CLC 1990 modifié (les cartes de la battance et d'érodibilité ont été dressées à partir de la carte des sols au 1/250 000, le MNT 90 majoré par l'aire drainée a permis de calculer le facteur de pente). (Illustration 34)

Classe	Carte de sensibilité issue du CLC 1990 pour le département de l'Oise		Carte de sensibilité issue CLC 1990 modifiée pour l'Oise.	
	km²		km²	
Aléa très faible	2635	45%	5172	88%
Aléa faible	920	16%	208	4%
Aléa moyen	1345	23%	12	0%
Aléa fort	460	8%	0	0%
Aléa très fort	24	0%	0	0%
Zones urbanisées	439	7%	439	7%
Zones humides	38	1%	38	1%
Pas d'information	11	0%	4	0%
Total	5873		5873	
Moyenne	2,63		1,79	

Illustration 35 : Répartition en surface des classes de sensibilité issue de deux différentes cartes de CLC

Dans la carte de sensibilité obtenue à partir de la carte de CLC modifiée, la grande majorité de la surface (88%) est classée dans la catégorie d'aléa le plus faible. Ceci est dû au fait que les terres arables font partie de l'une des catégories de sols les plus sensibles à l'érosion et que les prairies y sont peu sensibles. La modification de la carte CLC introduite par le reclassement des terres arables en prairies a réduit fortement le risque d'aléa.

Les deux cartes de sensibilité ont été soustraites pour une meilleure visualisation des différences de classement (Illustration 36).

CLC 1990 de l'Oise - CLC 1990 modifié		
Différence de classe	km ²	
Au moins 6	0	0,0%
-5	0	0,0%
-4	0	0,0%
-3	0	0,0%
-2	0	0,0%
-1	0	0,0%
Aucune différence	3309	56,3%
1	740	12,6%
2	1360	23,2%
3	433	7,4%
4	24	0,4%
5	0	0,0%
Plus de 6 classes	7	0,1%
Total	5873	100%
Moyenne	0,84	

Illustration 36 : Nombre de classes de sensibilité d'écart en fonction de la carte Corine Land Cover utilisée

Le passage de la carte de CLC à celle de la sensibilité a peu réduit les dissemblances puisque la surface classée identiquement dans les deux cartes de sensibilité est de 56,3% alors que 41% de la surface étaient classés dans les mêmes catégories dans les deux cartes de CLC. Cette comparaison montre aussi que les différences entre les cartes intermédiaires sont aussi importantes que les différences entre les cartes finales, ce qui peut suggérer que l'occupation du sol est l'un des facteurs ayant le plus d'influence sur le modèle. La première place qu'occupe l'occupation des sols dans l'arbre de décision (Illustration 3) peut expliquer l'importance de ce paramètre. La carte de l'occupation du sol est donc l'une des plus importantes pour la détermination de l'aléa érosion.

La carte Corine Land Cover, disponible gratuitement auprès de l'IFEN, n'est renouvelée que tous les 10 ans et il faut s'interroger sur les répercussions de l'usage d'une carte datant de plus de 10 ans. La carte de CLC 2000 étant disponible, une comparaison a été faite entre la carte de CLC 1990 utilisée dans le reste de l'étude et la nouvelle carte de CLC disponible (Illustration 37). Les deux cartes ont une maille de 90 m.

	CLC 1990 pour le département de l'Oise		CLC 2000 pour le département de l'Oise	
Classe	km ²		km ²	
Terrain artificialisés	440	7%	442	7%
Terres Arables	3497	59%	3496	59%
Culture Permanentes	2	0%	2	0%
Prairies et pâturages	398	7%	396	7%
Zones agricoles hétérogènes	225	4%	224	4%
Forêts	1301	22%	1303	22%
Zones d'eau libre	38	1%	38	1%
Total	5901		5901	

Illustration 37 : Evolution de l'occupation du sol entre CLC 1990 et CLC 2000.

A première vue, l'occupation des sols de l'Oise n'a globalement pas changé en 10 ans. Les deux cartes ont été soustraites pour savoir précisément si des changements d'occupation du sol ont eu lieu dans le département (Illustration 38). Les libellés des types de l'occupation du sol ne sont pas les dénominations originales du Corine Land Cover mais ceux utilisés par le modèle.

Changement d'occupation du sol entre 1990 et 2000,	km ²		Changement d'occupation du sol entre 1990 et 2000,	km ²	
De Eau libre vers Terrain artificialisé	1	0,0%	De Prairie vers Z. agric. hétéro.	465	0,1%
De Forêt vers Terrain artificialisé	13	0,2%	De Terre arable vers Culture Perm.	27	0,0%
De Eau libre vers Terre arable	2	0,0%	De Culture P. vers Z. agric. Hétéro	1	0,0%
De Eau libre vers Prairie	1	0,0%	De Terre arable vers Prairie	3351	0,5%
De Eau libre vers Z. agric. hétéro.	0	0,0%	De Terre arable vers Z. agric. hétéro.	2799	0,4%
De Z. agric. hétéro. vers Terrain artifi.	5	0,1%	De Z. agric. hétéro. vers Forêt	1005	0,1%
De Prairie vers Terrain artificialisé	10	0,2%	De Prairie vers Forêt	1753	0,2%
De Cultures P. vers Terrain artificialisé	0	0,0%	De Culture P. vers Forêt	199	0,0%
De Terre arable vers Terrain artificialisé	31	0,5%	De Terre arable vers Forêt	68	1,2%
De Forêt vers Terre arable	69	1,2%	De Terrain artificialisé vers Terre arable	29	0,5%
De Forêt vers Cultures P.	2	0,0%	De Terrain artificialisé vers Culture P.	0	0,0%
De Forêt vers Prairie	14	0,2%	De Terrain artificialisé vers Prairie	9	0,2%
De Forêt vers Z. agric. hétéro.	7	0,1%	De Terrain artificialisé vers Z. agric. hétéro.	5	0,1%
De Z. agric. hétéro. vers Terre arable	22	0,4%	De Z. agric. hétéro. vers Eau libre	0	0,0%
De Prairie vers Terre arable	27	0,5%	De Prairie vers Eau libre	1	0,0%
De Culture P. vers Terre arable	0	0,0%	De Terre arable vers Eau libre	1	0,0%
De Culture P. vers Terre arable	0	0,0%	De Terrain artificialisé vers Forêt	14	0,2%
De Z. agric. hétéro. vers Prairie	4	0,1%	De Terrain artificialisé vers Eau libre	1	0,0%
Aucune différence	5486	93,0%	Total	5901	

Illustration 38 : Différence d'occupation des sols en fonction de la carte d'occupation des sols utilisée

Finalement, ce sont 7% de l'occupation des sols du département qui ont changé entre 1990 et 2000, Il est difficile de voir l'impact de ces différences du point de vue du risque d'érosion.

Les cartes de Corine Land Cover 1990 et 2000 ont été utilisées pour le calcul de la carte de sensibilité à l'érosion (Illustration 39). Les cartes de battance et d'érodibilité ont été dressées à partir de la carte de sol au 1/250 000. Le MNT 90 majoré par l'aire drainée a permis de calculer le facteur de pente.

Classe	CLC 1990		CLC 2000	
	km ²		km ²	
Aléa très faible	2635	45%	2637	45%
Aléa faible	920	16%	919	16%
Aléa moyen	1345	23%	1342	23%
Aléa fort	460	8%	461	8%
Aléa très fort	24	0%	24	0%
Zones urbanisées	439	7%	441	8%
Zones humides	38	1%	38	1%
Pas d'information	11	0%	11	0%
Total	5873		5873	
Moyenne	2,63		2,64	
Ecart type	2,51		2,51	

Illustration 39 : Répartition de la surface dans les classes de sensibilité calculé à partir des CLC 1990 et 2000

Les deux cartes de sensibilité sont presque identiques comme pouvait le laisser supposer la comparaison des deux cartes de l'occupation du sol (Illustration 36). Une augmentation de la surface du département en "zones artificialisées", en "zones humides" et en "zones sans information" font augmenter la moyenne. L'utilisation de cartes de CLC datant de plus 10 ans ne semble pas influencer d'une manière significative les résultats de la carte de l'aléa érosion

Les deux cartes ont été soustraites pour mieux spatialiser les différences (Illustration 40).

CLC 1990 de l'Oise - CLC 2000 de l'Oise.		
Différence de classe	km ²	
Au moins 6	62	1,1%
-5	0	0,0%
-4	1	0,0%
-3	25	0,4%
-2	54	0,9%
-1	23	0,4%
Aucune différence	5544	94,4%
1	23	0,4%
2	54	0,9%
3	25	0,4%
4	1	0,0%
5	0	0,0%
Plus de 6	60	1,0%
Total	5873	100%
Moyenne	-0,01	
Ecart type	1,29	

Illustration 40 : Nombre de classes de sensibilité d'écart en fonction de la carte Corine Land Cover utilisée

L'augmentation de la surface du département dans les catégories 10 (zones artificialisées), 12 (zones humides) et 13 (zones sans information) crée une répartition des catégories dans quasiment toutes les différences de classes existantes. La classe -9 peut signifier l'artificialisation d'un terrain auparavant classé en zones aléa faible. Cela crée de nombreux cas de figures mais au vue des faibles pourcentages mis en jeux, il ne paraît pas nécessaire de pousser plus loin l'analyse pour chaque cas possible. L'information importante de cette illustration est que 94,4% de la surface sont classés de manière identique dans les deux cartes. 2,1% de la surface sont classés dans des différences de plus ou moins 6 catégories. Cette surface est à mettre de côté car elle implique les zones artificialisées et les zones sans information. Il reste donc 3,5% de la surface dont la différence de classement peut aller jusqu'à 5 catégories. Cela confirme l'importance que revêt l'occupation du sol dans le calcul de la sensibilité à l'érosion. Le changement de classification peut varier de la classe d'aléa le plus faible à la classe d'aléa le plus fort. Dans le cadre de la mise à jour de la carte de Corine Land Cover, seuls 424 pixels ont changés de 5 catégories ce qui ne représente qu'1 km² sur l'ensemble du département de l'Oise (5873 km²). Sans compter les changements en zones urbaines, 206 km² ont changé d'au moins une classe en 10 ans.

Conclusion partielle : Influence du couvert végétal

L'occupation du sol est probablement la carte ayant le plus d'influence sur la sensibilité à l'érosion dans l'Oise. L'utilisation de cartes actualisées est donc souhaitable. Vu la facilité d'accès à la carte Corine Land Cover pour toutes les régions françaises, l'occupation du sol est un paramètre facilement intégrable.

2.4. INFLUENCE DU FACTEUR CLIMATIQUE

La dernière étape de la modélisation de l'Aléa Erosion est l'utilisation du facteur pluviométrique pour pondérer la carte de sensibilité et obtenir l'aléa à proprement parler. Le potentiel d'érosion ou l'« érosivité » de la pluie dépend essentiellement de son volume et de son intensité. Le facteur climatique utilisé dans le modèle correspond à une combinaison des volumes de pluie moyens et d'un indice caractérisant leur intensité (Illustration 41).

Le volume de précipitation correspond à une mesure directe, par contre l'intensité des pluies peut être décrite de différentes manières, soit sous forme d'un volume ou d'une hauteur en un temps donné, soit sous forme de périodes de retour, c'est-à-dire la période qui correspond à une probabilité d'occurrence d'un type d'événement donné. Ces deux méthodes de caractérisation de l'intensité des précipitations ont été étudiées. La première méthode se base sur une étude statistique du nombre de jours où un événements pluvieux dépasse un certain seuil d'intensité (Le Bissonnais et al., 1998). La seconde méthode se base sur les hauteurs de pluie maximum en 24h pour une période de retour donnée.

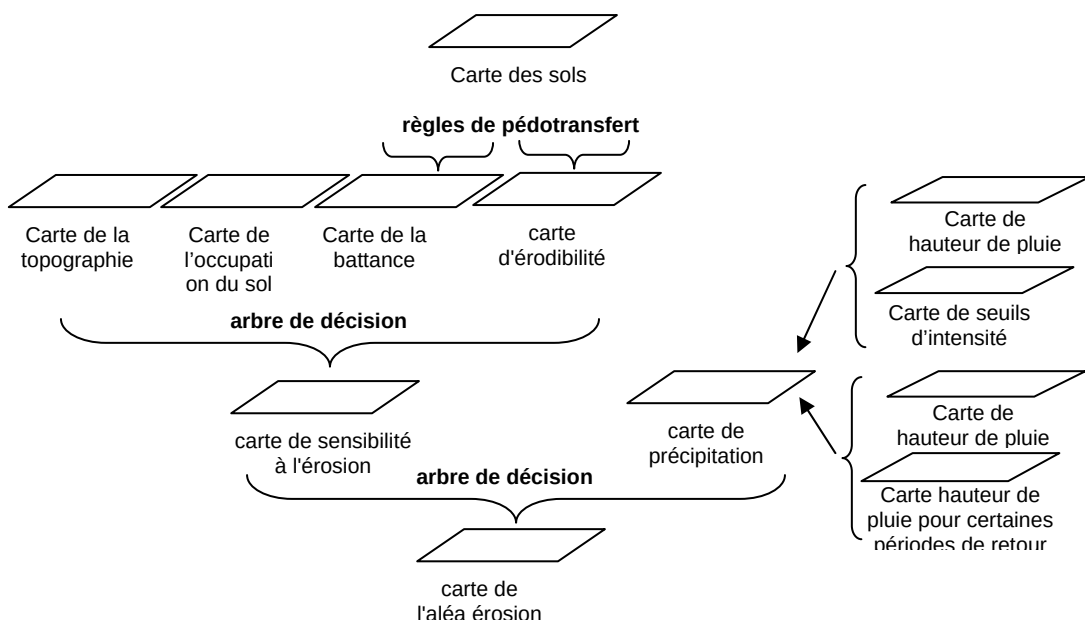


Illustration 41 : Présentation de la méthode d'analyse de l'influence de la prise en compte de différents facteurs climatiques

Pour les volumes de pluie, la méthode AURELHY (Analyse Utilisant le RELief pour l'HYdrométéorologie) a été utilisée. Cette méthode permet de cartographier les pluies en tenant compte de la valeur réelle mesurée par la station météorologique sur une durée de trente ans et des particularités topographiques de chaque point (Benichou & Le Breton, 1987). Ces valeurs ont ensuite été reclassées en quintiles pour chaque saison climatique (Illustration 42).



Illustration 42 : Carte de répartition des quintiles de hauteur de précipitations moyennes annuelles sur le département de l'Oise

L'intensité des pluies est caractérisée par la fréquence moyenne par saison de hauteurs de pluies supérieures ou égales à 15 mm en 1 heure. Ce choix, bien que subjectif, offre un compromis entre la précision nécessaire et une discrimination suffisante pour faire ressortir les fortes intensités des pluies (Le bissonnais et al., 1998). Les valeurs de fréquences ont été regroupées en trois classes d'effectifs égaux, correspondant à des seuils d'intensités : "faible", "moyenne" et "forte" (Illustration 43). La carte du facteur climatique représentant l'action de la pluie sur l'érosion découle du croisement des hauteurs de pluie et de l'intensité.

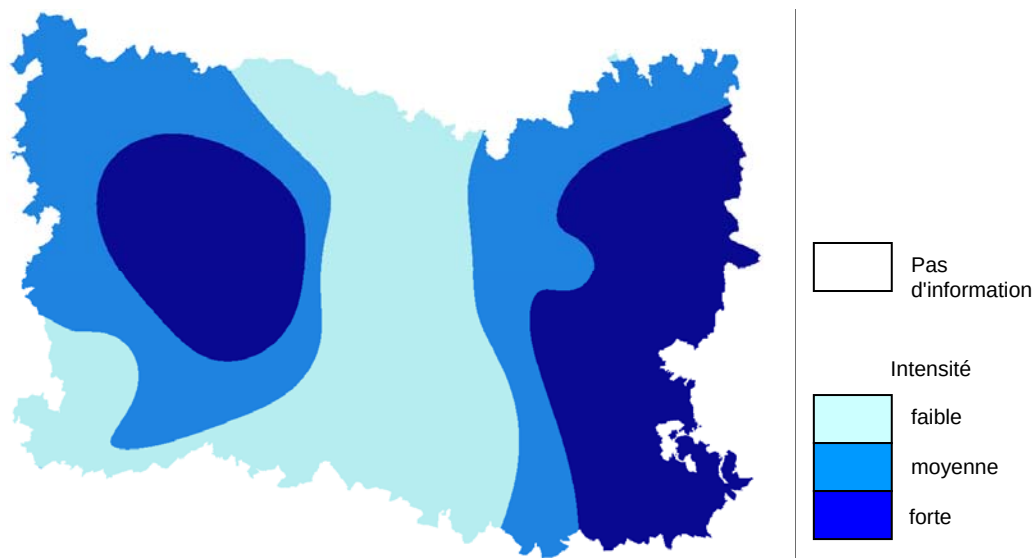


Illustration 43 : Carte de répartition des classes d'intensité de précipitations sur le département de l'Oise calculées en prenant en compte le nombre de jours où le seuil de 15mm en 1h pendant une heure est dépassé.

Comme précisé plus haut, l'intensité des pluies peut aussi être jugée par la hauteur de précipitation pour des valeurs de périodes de retour données. Des études préalables dans le département de l'Hérault ont montrées que des périodes de 2 à 10 ans pouvaient être suffisantes pour dresser des cartes d'intensité (Gahide, 2006).

Cette méthode n'a pas pu être déployée intégralement sur le département de l'Oise. Météo France ne peut fournir les valeurs de précipitations sur des durées de retour que pour des stations météorologiques ayant plus de 30 ans d'existence. Dans l'Oise, seules deux stations satisfont à ce critère, la station de Beauvais-Tillé et celle de Creil. Sur les départements voisins un petit nombre de stations était aussi disponible mais celles-ci étaient assez éloignées.

De plus, l'étude des valeurs de précipitations pour les deux stations disponibles indiquait que les précipitations étaient plus petites que le seuil minimal de la méthode utilisé dans l'Hérault (Illustration 44).

	Creil	Beauvais –Tillé
5 ans	39,2 mm	40,4 mm
10 ans	43,9 mm	44,8 mm

Illustration 44 : hauteur de précipitations maximum en 24h pour deux périodes de retour et deux stations météorologiques dans l'Oise.

Dans l'optique de conserver une méthodologie de calcul de l'aléa érosion uniforme sur le territoire métropolitain, l'utilisation de la méthode basée sur les valeurs des précipitations maximum en 24h pour une période de retour donnée revient donc à ne réaliser aucune pondération de la hauteur des pluies dans les régions comme l'Oise ;

les valeurs calculées dans les régions du pourtour méditerranéen étant beaucoup élevé.

Les cartes d'aléa réalisées avec les deux méthodes ainsi qu'une carte de sensibilité ont été comparées pour visualiser les différences entre les méthodes.

Les cartes d'aléa et de sensibilité ont été comparées dans le but d'apprécier l'importance du facteur climat sur le calcul de l'aléa "érosion" dans le département de l'Oise (Illustration 45). La carte de sensibilité utilise les cartes de la battance et de l'érodibilité au 1/250 000 ainsi que le Corine Land Cover 1990 et le facteur de pente issu du MNT 90 m majoré par l'aire drainée. La carte d'aléa utilisant la méthode des périodes de retour est la même que la précédente croisée avec la carte des hauteurs de pluie. La carte utilisant la méthode des fréquences est la carte de sensibilité croisée avec la carte de hauteur de pluie pondérée par la carte des fréquences de précipitations.

	Carte de sensibilité		Carte d'aléa avec la méthode des intensités des précipitations		Carte d'aléa avec la méthode des périodes de retour	
Classe	km ²		km ²		km ²	
Très faible	2479	42%	2365	40%	2457	42%
faible	912	16%	931	16%	957	16%
Moyen	1326	23%	1243	21%	1199	20%
Fort	641	11%	601	10%	569	10%
Très fort	27	0%	245	4%	206	4%
Zones urbanisées	439	7%	439	7%	439	7%
Zones humides	38	1%	38	1%	38	1%
Pas d'information	11	0%	11	0%	11	0%
Total	5874		5874		5876	
Moyenne	2,72		2,82		2,77	
Ecart type	2,50		2,53		2,52	

Illustration 45 : Répartition en surface des classes d'aléa érosion obtenu pour différentes méthodes de calcul de l'agressivité des pluies

Les moyennes des cartes d'aléa ont une moyenne supérieure à la carte de sensibilité, ce qui indique que les précipitations ont une action aggravante sur le phénomène érosion. La présence de 4% de la surface dans la catégorie "Très fort" dans les cartes d'aléa et de 0% de la surface dans cette catégorie dans la carte de sensibilité confirme cette première conclusion.

Les cartes ont été soustraites deux à deux pour une meilleure compréhension des différences (Illustration 46).

	Carte de sensibilité - Carte d'aléa avec la méthode des intensités		Carte de sensibilité - Carte d'aléa avec la méthode des périodes de retour		Carte avec la méthode des fréquences - Carte avec la méthode des périodes de retour	
Différence de classe	km ²		km ²		km ²	
Au moins 4	0	0,0%	1	0,0%	1	0,0%
-3 classes	0	0,0%	17	0.3%	5	0,1%
-2 classes	74	1.3%	182	3.1%	55	0,9%
-1 classe	1037	17.7%	884	15.1%	359	6,1%
Aucune différence	4186	71.3%	3852	65.7%	4726	80,6%
1 classe	575	9.8%	809	13.8%	627	10,7%
2 classes	2	0.0%	113	1.9%	87	1,5%
3 classes	0	0,0%	6	0.1%	8	0,1%
Plus de 4	0	0,0%	1	0.0%	2	0,0%
Total	5874		5868		5868	
Moyenne	-0,10		-0.04		0,06	

Illustration 46 : Ecart en surface entre les classes de sensibilité et d'aléa érosion obtenu pour deux méthodes de pondération des pluies.

Dans les deux cas de figures, les précipitations augmentent la surface classée dans les catégories les plus hautes de l'aléa érosion comme l'indiquent les moyennes négatives.

Entre la carte de sensibilité et la carte d'aléa obtenue avec la méthode des périodes de retour seuls 65,7% de la surface sont classés identiquement. 5% de la surface sont même classés à deux catégories d'écart. Entre la carte de sensibilité et celle d'aléa avec la méthode des intensités, 71,3% de la surface sont dans les mêmes classes. Les deux cartes réalisées avec les deux méthodes d'estimation de l'agressivité des pluies ont 80,6% de leurs surfaces identiques.

Conclusion partielle : Influence des précipitations

Les cartes météorologiques sont importantes pour le calcul de l'aléa érosion dans le sens où l'ajout de la pluviométrie influence le classement de 30 à 35% de la surface. La carte réalisée avec la méthode des intensités des pluies apporte une pondération des valeurs de hauteurs de pluies et permet donc de tenir compte de l'érosivité des pluies même dans une zone climatique tempérée comme l'Oise. En revanche, aucun point de l'Oise ne bénéficiant d'un climat marqué, l'utilisation de la méthode utilisant les périodes de retour n'apporte aucune pondération. Par ailleurs, le prix relativement élevé des données relatives aux périodes de retour, mais surtout, le faible nombre de stations disposant des données nécessaires cantonnent l'utilisation de cette méthode à des zones où des données spécifiques ont déjà été recueillies dans le cadre d'autres projets.

3. Validation

La phase finale de ce travail consiste en la validation des cartes réalisées. Nous avons d'abord testé la pertinence de l'utilisation des recensements de déclaration de catastrophes naturelles. Puis, les cartes analysées précédemment ont été comparées à une carte de référence pour savoir quelles combinaisons de cartes intermédiaires étaient nécessaires pour traduire au mieux l'aléa érosion dans l'Oise.

3.1. CARTE CATNAT

La carte de référence pour la validation du modèle aurait pu se baser sur le décompte des décrets de catastrophes naturelles "coulée de boue" dans le département de l'Oise (Illustration 47).

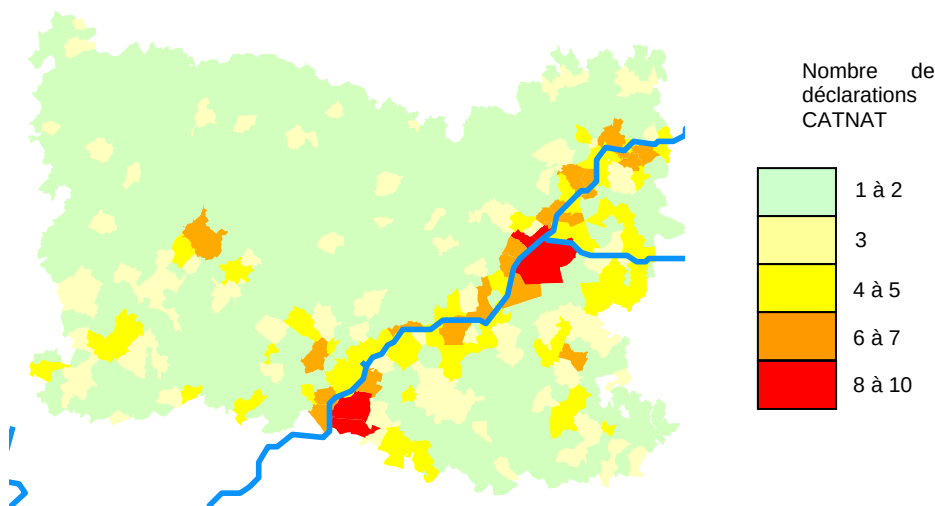


Illustration 47 : Répartition du nombre de catastrophes naturelles "coulée de boue" par commune dans l'Oise et tracé des principales rivières du département.

Cette méthode a été écartée pour plusieurs raisons.

D'abord, les déclarations CATNAT sont plus le reflet d'un risque plutôt que celui d'un aléa. Les CATNAT sont des déclarations de dommages sur les biens et les infrastructures. Dans les zones où le bâti et autres biens sont rares et dispersés, le nombre de déclaration est faible même si l'aléa est fort. Pour cette raison, le nombre de CATNAT est fortement lié à la densité de population (Illustration 48). Plus la densité est importante, plus la probabilité que l'érosion affecte une zone construite est importante. La comparaison entre l'Illustration 47 et l'Illustration 48 montre la corrélation entre la population et le nombre de déclaration CATNAT. Cette corrélation est particulièrement visible le long de deux lignes, l'une allant du milieu de la frontière Sud du département jusqu'au coin Nord Est, l'autre partant du même point mais allant vers le coin Nord Ouest (Illustration 48).

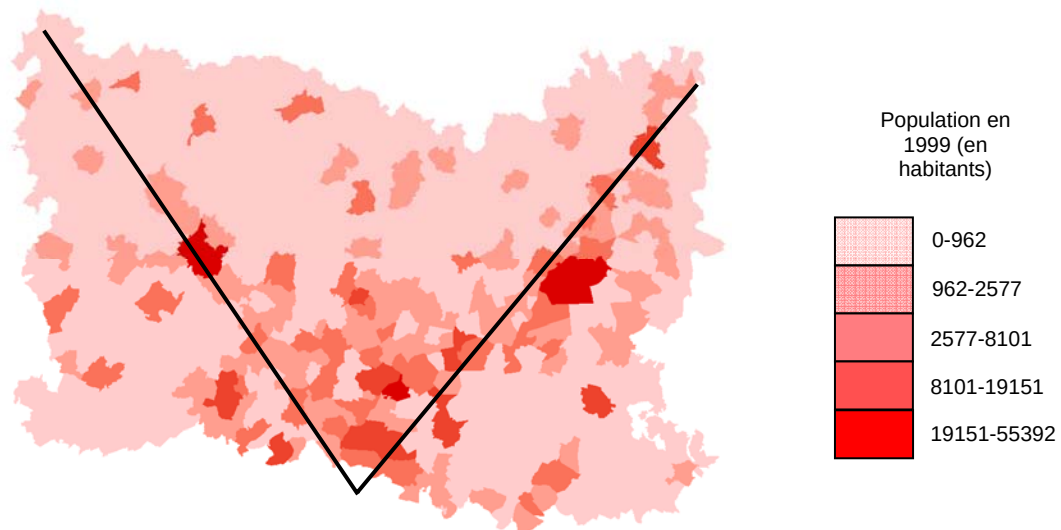


Illustration 48 : Carte de la population de l'Oise par commune en 1999

De plus, les déclarations de CATNAT « coulée de boue » peuvent regrouper plusieurs catégories d'événement, de l'inondation par remontée de nappe aux glissements de terrain de faible amplitude. Cette confusion est gênante car les types de processus en cause dans ces différentes catégories d'événements sont très différents et la cartographie de l'aléa érosion ne vise pas à cartographier les débordements de rivière, or ce type d'inondation est fréquent dans la région. Ces confusions sont une explication à la corrélation qui existe entre le nombre de déclaration et la distance aux principales rivières du département (Illustration 47).

Les déclarations d'états de catastrophes naturelles "coulée de boue" ne sont donc pas adaptées pour valider le modèle d'aléa érosion.

3.2. DIRES D'EXPERTS

Les déclarations CATNAT n'étant pas une source valable de validation du travail réalisé, une voie alternative a été utilisée en se basant sur les dires d'experts locaux. Le contexte de l'Oise est assez spécifique et diffère du travail réalisé dans l'Hérault car le département de l'Oise a été justement sélectionné dans cette étude parce qu'en plus de représenter une situation contrastée par rapport au contexte méditerranéen, nous disposons déjà de l'avis d'expert sur une carte réalisée en 2005. Nous n'avons donc pas eu, comme dans le cas de l'Hérault, à mobiliser des experts locaux pour une séance de travail spécifique sur les différentes cartes que nous avons produites ou pour leur soumettre un questionnaire afin qu'ils nous transmettent leur vision de la sensibilité des sols et paysages de l'Oise à l'érosion.

L'étude préliminaire a été réalisée en 2005. Nous avons profité de la mobilisation d'experts locaux par le BRGM lors de la constitution d'un atlas des risques naturels et technologiques sur l'Oise (Arnal et al., 2005) pour réaliser un premier scénario. Le scénario qui avait alors été choisi de manière empirique, car nous ne disposions pas des résultats de tous les tests de sensibilité et nous n'avions pas encore testé la robustesse du modèle, était le suivant : la carte des sols au 1/250000, le MNT IGN à 50 m et Corine Land Cover 2000 (Illustration 49).

Lors de cette étude, les experts avaient assez peu modifiés la carte (Illustration 49). Les changements étaient peu nombreux et très localisés. 9 modifications avaient été demandées. 7 portaient sur des sous-estimations du modèle d'une ou deux catégories, les 2 dernières étaient des surestimations d'une classe. Aucune anomalie marquante n'a été signalée, les modifications demandées étaient très localisées, elles sont donc difficilement modélisables et il est difficile de retrouver une éventuelle cause car la précision des modifications est souvent supérieure à la résolution des données d'entrée.

Si cette évaluation est plutôt positive dans le sens où les tendances mises en évidence par la cartographie n'ont pas été remises en cause, elle souligne néanmoins une limite importante inhérente à ce type de modélisation qui concerne la résolution du rendu cartographique. Ainsi, si les calculs sont effectués à la maille de 50m, cela ne correspond pas à la résolution à laquelle il est souhaitable d'utiliser la carte. En effet même si cette étude a démontré la robustesse de l'approche avec une sensibilité du modèle bien répartie entre les différents paramètres d'entrées, il n'en reste pas moins que la résolution des paramètres d'entrées, limite l'utilisation des cartes et ne permet pas d'identifier des zones plus petites que la centaine de km².

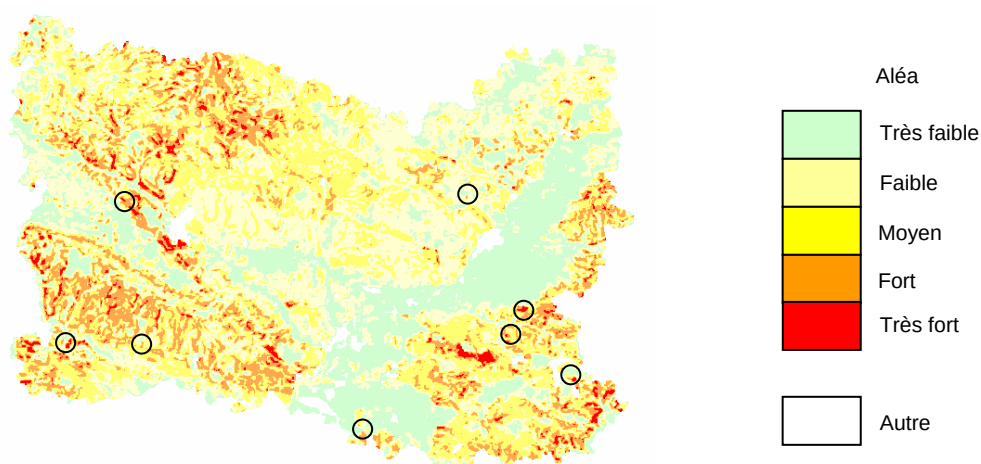


Illustration 49 : carte de référence de l'aléa érosion. Les cercles indiquent les modifications faites par les experts.

Nous retiendrons donc cette carte (Illustration 49) comme carte de référence dans le reste de l'étude car elle reste proche de la réalité de l'aléa érosion dans l'Oise selon les dire des experts même si ponctuellement des erreurs existent.

Dans la suite de cette partie, nous allons donc comparer les cartes d'aléa obtenus avec les différents scénarios, non pas dans le but d'une validation, mais afin d'apprécier visuellement les différences apportés par les différentes modifications des paramètres d'entrées sur le rendu de la carte finale d'aléa.

3.2.1. Effet de la météorologie.

L'effet de la météorologie est facilement visible. Les deux cartes ci-dessous ont été réalisées avec les mêmes cartes intermédiaires exceptées que la première carte n'a pas été croisée avec la carte météorologique. Cette illustration revient à la comparaison entre la sensibilité (Illustration 50) et l'aléa (Illustration 51). Les deux cartes ont été réalisées à partir d'une carte des sols au 1/250 000, du CLC 1990 et d'un MNT de maille 90 × 90 m. La carte météorologique est la carte des hauteurs des pluies pondérée par la méthode des intensités (cf. 2.4).

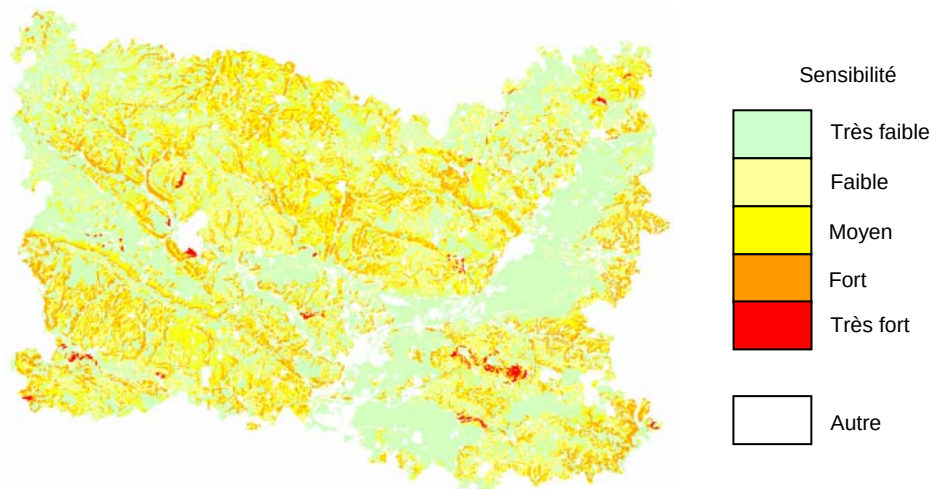


Illustration 50 : Carte de sensibilité

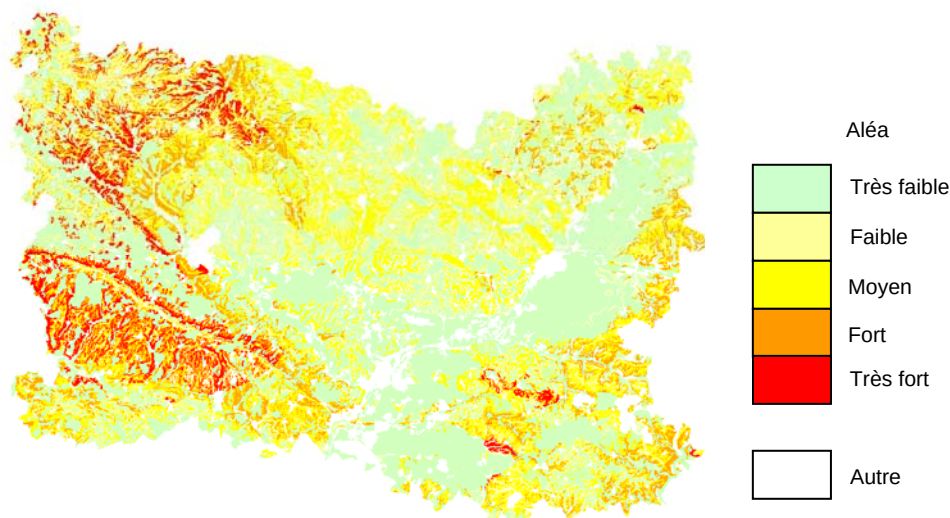


Illustration 51 : Carte d'aléa

La comparaison entre la carte de référence (Illustration 49) et la carte de sensibilité indique que la carte de sensibilité ne parvient pas à refléter les risques importants de l'Ouest du département et sous-estime grandement l'érosion. Le facteur météorologique paraît indispensable pour cartographier l'aléa érosion comme l'indique la comparaison entre la carte de référence et la carte d'aléa.

3.2.2. Effet de l'agressivité des pluies.

Cette seconde comparaison est celle entre les deux méthodes de calcul d'agressivité de la pluie (§ 2.4). Deux cartes ont été réalisées à partir d'une carte de sol au 1/250 000, du CLC 1990 et d'un MNT de maille 90 × 90 m. La carte du facteur météorologique est une carte des hauteurs des pluies pondérées par la méthode des intensités (Illustration 52) ou pondéré par la méthode des périodes de retour (Illustration 53). Les deux cartes se ressemblent globalement mais celle réalisée avec la méthode basée sur les périodes de retour a tendance à sous-estimer le nombre de pixels en aléa fort ou très fort (Illustration 49) comme l'indique les points de comparaison (cercles sur les cartes). Ce résultat confirme le choix de la méthode basée sur les seuils d'intensité qui permet de faire ressortir les zones où les pluies sont plus érosives.

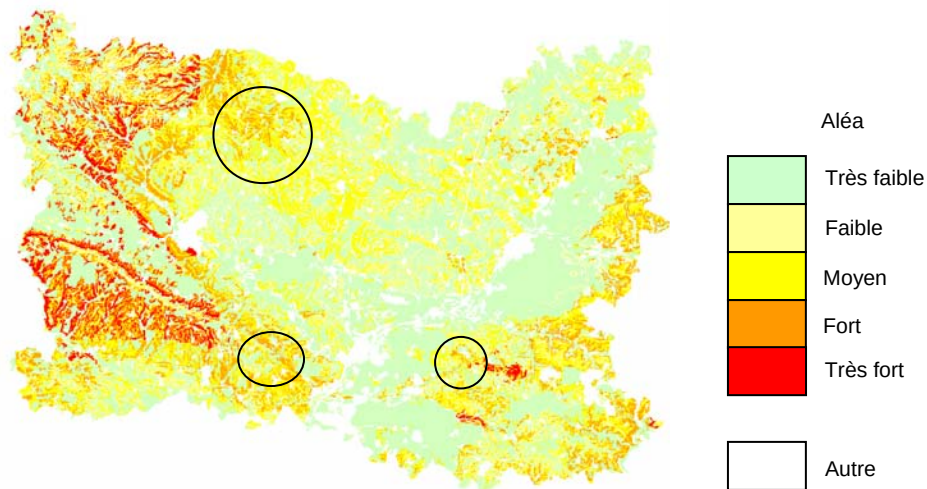


Illustration 52 : Carte d'aléa où les hauteurs de pluies sont pondérées par la méthode des périodes de retour

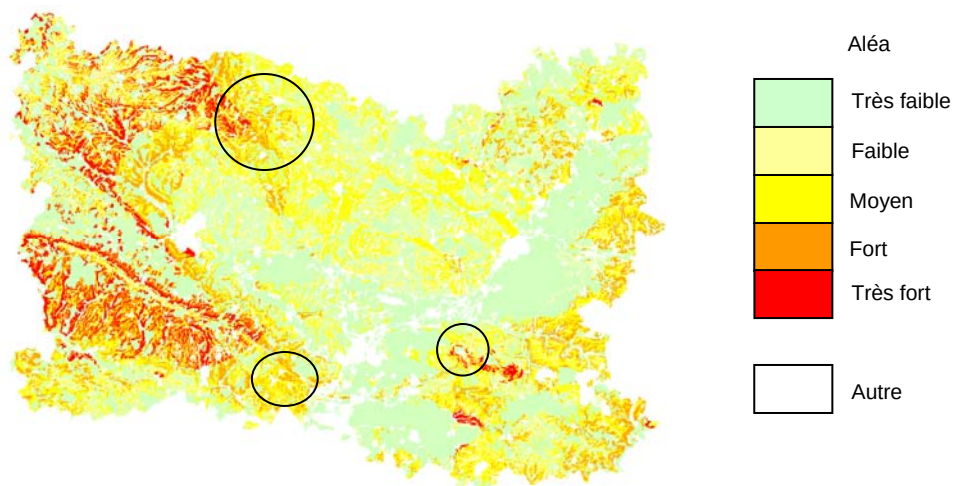


Illustration 53 : Carte d'aléa où les hauteurs de pluies sont pondérées par la méthode des fréquences des précipitations

3.2.3. Effet de la carte des sols

Cette comparaison de l'influence de la résolution de la carte sols sur la cartographie de l'aléa dans l'Oise sur les deux cartes qui ont été réalisées à partir du CLC 1990, d'un MNT de maille 90 × 90 m et d'une carte de hauteur des pluies pondérée par la méthode des intensités des pluies. Une carte de sol au 1/1 000 000 a été utilisée pour dresser la première de ces cartes (Illustration 54), une carte de sol au 1/250 000 a été utilisée pour la seconde (Illustration 55).

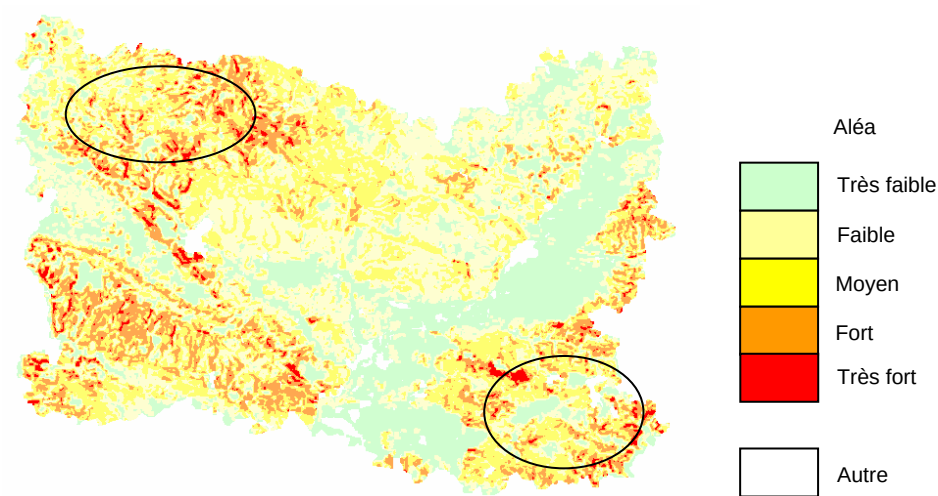


Illustration 49 : carte de référence

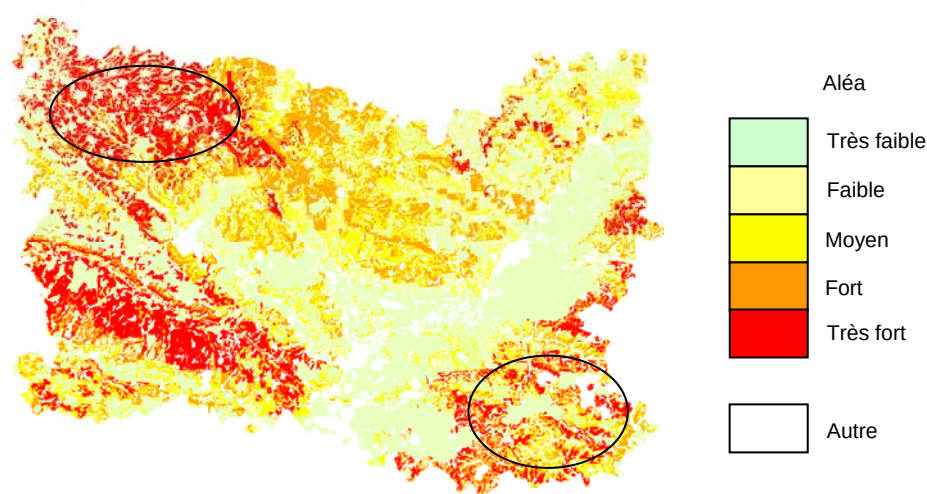


Illustration 54 : Carte d'aléa réalisé à partir d'une carte de sol au 1/1 000 000

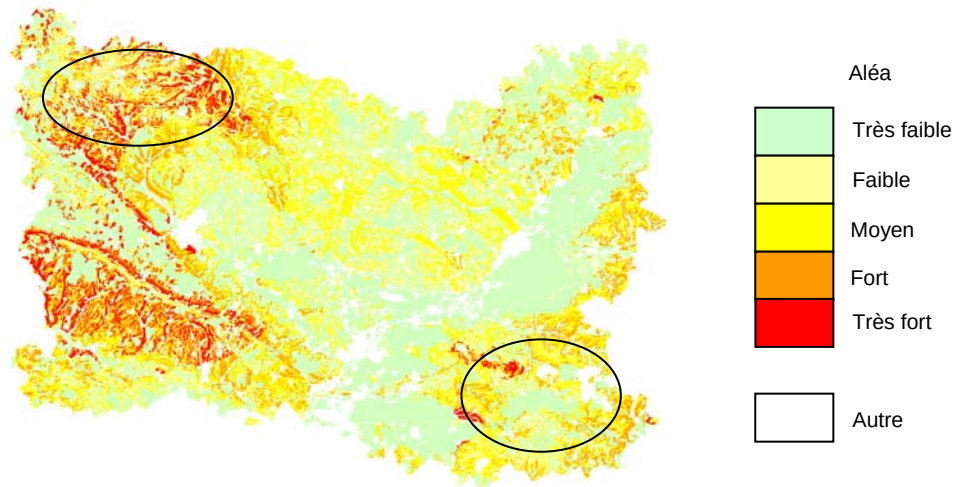


Illustration 55 : Carte d'aléa réalisé à partir d'une carte de sol au 1/250 000

Il apparaît très clairement que l'utilisation d'une carte des sols peu précise amène des mauvaises classifications de nombreuses parties du département. Dans le cas de l'Oise, l'utilisation de la carte de sol au 1/1 000 000 conduit à une carte de l'aléa érosion qui surestime l'aléa dans quasiment tout le département et surtout dans les parties Nord-Ouest et Sud-Est où presque la totalité de la surface est classée dans un aléa "fort" (cercles sur l'illustration 49, illustration 54 et l'illustration 55).

3.2.4. Effet de occupation du sol

Deux cartes ont été réalisées à partir d'une carte des sols au 1/250 000, d'un MNT de maille 90 × 90 m et de la carte des hauteurs des pluies pondérée par la méthode de l'intensité des pluies. La première a été réalisée avec le CLC 1990 (Illustration 56) tandis que la seconde a été réalisée avec le CLC 2000 (Illustration 57).

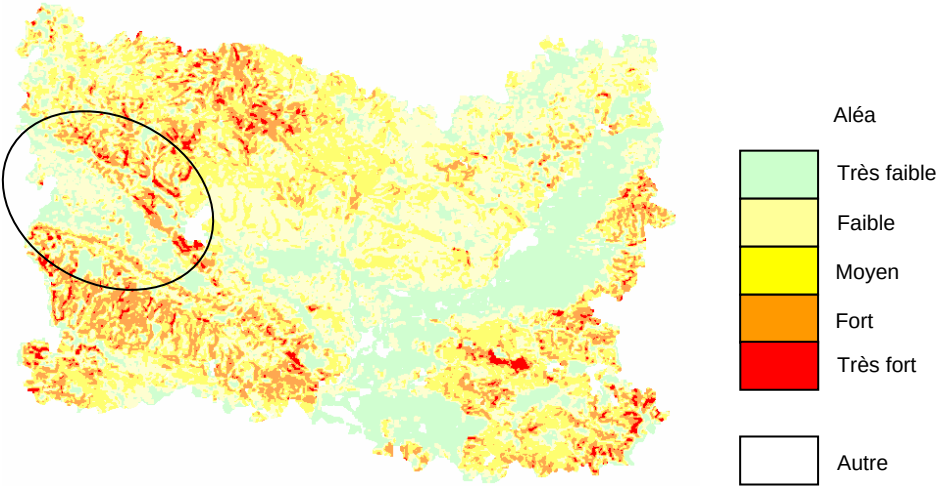


Illustration 49 : carte de référence

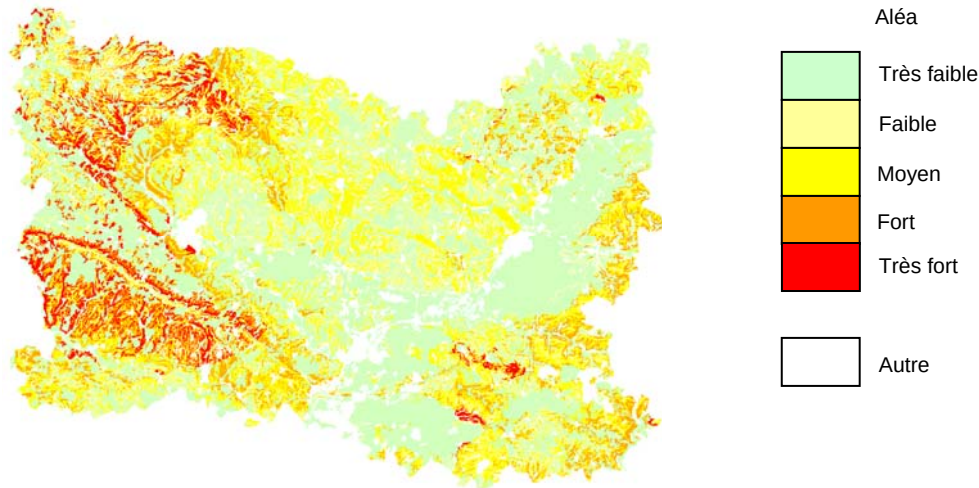


Illustration 56 : Carte d'aléa réalisée à partir du CLC 1990

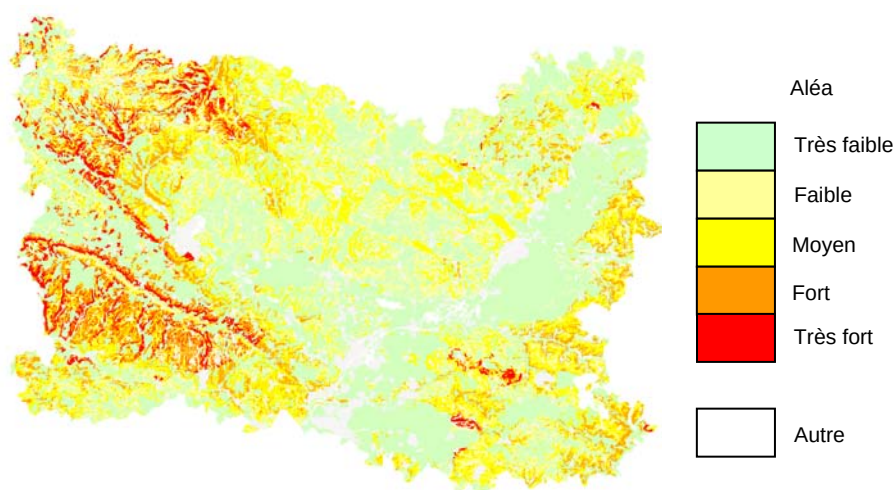


Illustration 57 : Carte d'aléa réalisée à partir du CLC 2000

Les cartes ci-dessous indiquent que l'utilisation du CLC 2000 ou du CLC 1990 apporte très peu de différences et que les deux cartes restent en phase avec la carte de référence.

3.2.5. Effet du MNT

Trois cartes ont été établies pour cette comparaison. Les trois cartes ont été réalisées à partir d'une carte des sols au 1/250 000, du CLC 1990 et des hauteurs des pluies pondérées par les fréquences des pluies. Le MNT initial a varié de 50 × 50 m (Illustration 58) à 250 × 250 m (Illustration 59) en passant par la valeur de 90 × 90 m (Illustration 60).

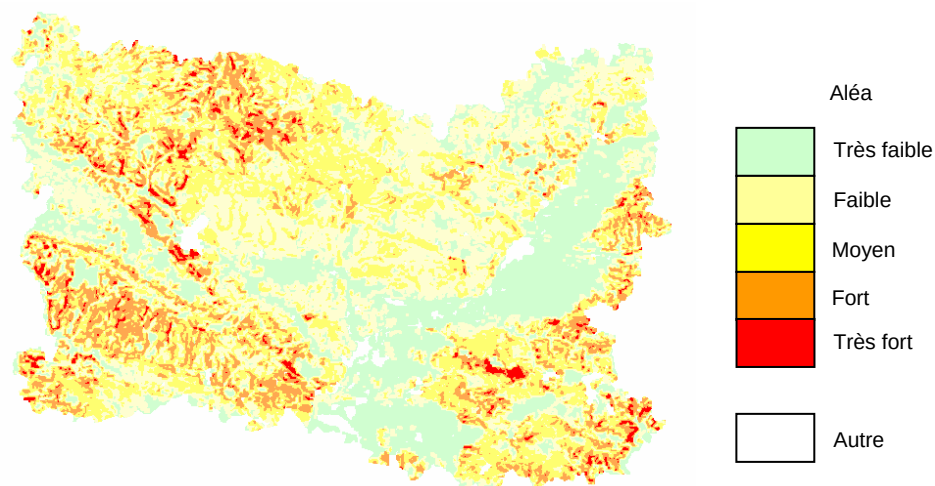


Illustration 49 : carte de référence

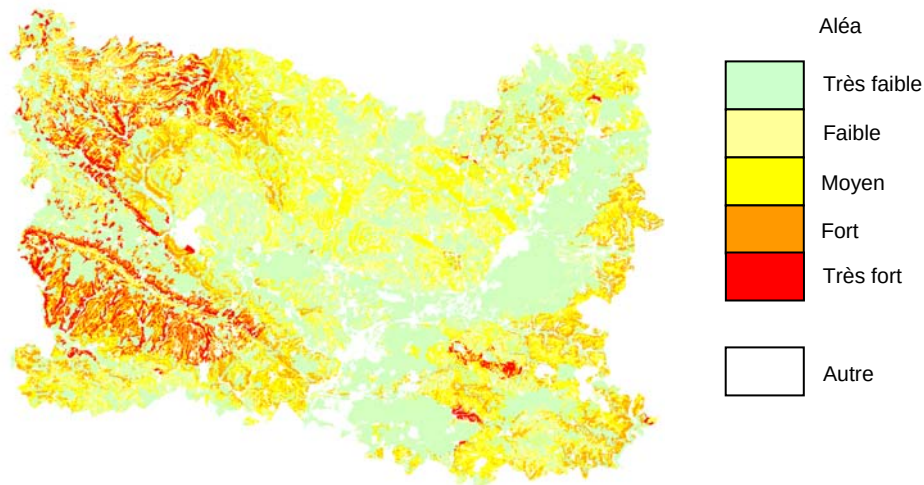


Illustration 58 : Carte d'aléa réalisée avec un MNT de maille 50 × 50 m

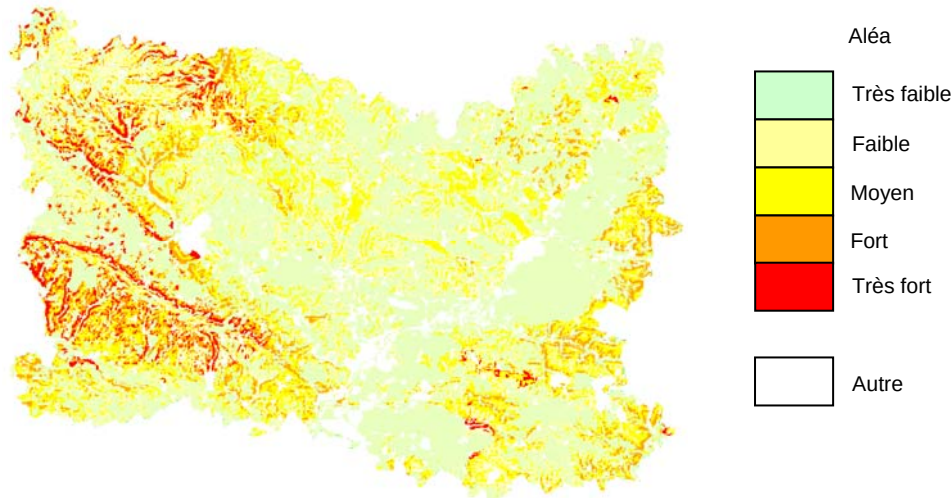


Illustration 59 : Carte d'aléa réalisée avec un MNT de maille 250 × 250 m



Illustration 60 : Carte d'aléa réalisée avec un MNT de maille 90 × 90 m

Cette comparaison montre l'influence du MNT utilisé pour concevoir la carte d'aléa érosion. Les trois cartes présentent des répartitions spatiales relatives similaires à la carte de référence. La carte basée sur un MNT au 250 m semble moins précise comme le montrent les différences sur certaines parties du département. Sur les trois cartes, les mêmes zones géographiques sont observables mais les intensités sont différentes en fonction des cartes. Les deux cartes avec des mailles 50 × 50 et 90 × 90 m sont vraiment similaires tandis que sur la carte utilisant des mailles 250 × 250 m, les zones en "aléa fort" sur les deux autres cartes passent en "aléa moyen" et les zones en "aléa moyen" passent en "aléa faible". Quelque soit la carte choisie, les zones d'aléa sont conservées mais les intensités sont différentes. Cette validation des cartes montre que la résolution du MNT n'est pas la variable la plus importante pour différencier certaines zones relativement à d'autres au sein du département, mais il reste une variable importante pour définir de l'intensité de l'aléa érosion.

4. Conclusion

Cette étude, en complément à celle menée sur l'Hérault, a eu pour apport principal de démontrer la robustesse du modèle. En effet les résultats des différents scénarios testés ont montré que le modèle réagit de manière satisfaisante aux différentes modifications des paramètres d'entrées qui lui ont été imposées. Chaque paramètre joue un rôle sur le résultat final mais sans l'influencer complètement. Ainsi on a pu montrer que :

- 1) Une différence de maille de la carte de MNT entraîne de grandes différences lors du calcul des classes de pente et du facteur de pente mais ces différences sont amoindries lors du calcul de la sensibilité à l'aléa érosion. Même si il est probable que des MNT de plus en plus précis soient disponibles dans un futur proche, l'utilisation d'un MNT à 50 m de résolution semble suffisant, notamment tant que la résolution des autres cartes d'entrée ne sera pas améliorée.
- 2) L'utilisation de l'aire drainée dans le calcul du facteur de pente est à privilégier, principalement lors de l'utilisation de modèle numérique de terrain à faible résolution. L'intérêt de l'utilisation de l'aire drainée pondérée par STREAM dépend du relief de la zone étudiée et ne paraît pas forcément à conseiller ici.
- 3) Au niveau des paramètres pédologiques, la résolution des cartes d'érodibilité revêt une importance modérée et l'effort d'amélioration devra plus se concentrer sur la résolution de la carte de la battance qui présente une plus grande influence. L'utilisation de cartes au 1/1000000 est dans tous les cas à déconseiller.
- 4) Etant donné la faible agressivité du climat de l'Oise, la meilleure méthode pour tenir compte de l'érosivité des pluies et d'utiliser les valeurs de la base AURELHY pondérées par le nombre de jour (par saison) où le seuil de 15 mm/h est atteint pendant au moins une heure.
- 5) Dans le contexte de ce département, l'utilisation d'une carte récente de Corine Land Cover n'influe pas de manière significative sur les résultats de la carte d'aléa érosion, alors que nous avons par ailleurs, à l'aide de scénarios fictifs, pu vérifier la sensibilité élevée du modèle à ce paramètre. La faible dynamique du changement des terres au sein du département explique facilement ce résultat.

5. Bibliographie

Arnal C., Mirgon C., Imbault M., Wuilleumier A., Mardhel V., Gravier A., Cauvin I. (2005). Atlas des risques majeurs de l'Oise Cartographie des risques - Phénomènes naturels et principaux enjeux. Rapport BRGM/RP-54152-FR

Cerdan O., Souchère V., Lecomte V., Couturier A., Le Bissonnais Y. - 2002. Incorporating soil surface crusting processes in an expert-based runoff and erosion model STREAM (Sealing Transfer Runoff Erosion Agricultural Modification). Catena 46, 189-205.

Cerdan O, Le Bissonnais Y, Souchère V, King C, Antoni V, Surdyk N, Dubus I, Arrouays D, Desprats JF. 2006. Guide méthodologique pour un zonage départemental de l'érosion des sols Rapport n°3 : Synthèse et recommandations générales. Rapport BRGM-RP-55104-FR, 85 pp., 24 ill.

Benichou P & Le Breton O., 1987. Prise en compte de la topographie pour la cartographie de champs pluviométriques statistiques : la méthode AURELHY. Les Colloques de l'INRA, n° 39. Toulouse, 16-17 avril 1986. pp 51-69.

Gahide E. (2006). Cartographie de la pluie journalière maximale annuelle sur le Gard et l'Hérault (France) par une approche régionale et comparaison avec la méthode SHYPRE. Projet industriel de fin d'étude. 23p.

Le Bissonnais Y., Montier C., Daroussin, J., King D., 1998. Cartographie de l'aléa érosion des sols en France. IFEN, Collection Etudes et travaux, n°18. 63p + CD rom.

Le Bissonnais Y., Thorette J., Bardet C. & Daroussin J. 2002. L'érosion hydrique des sols en France. INRA/IFEN, novembre 2002. 105p.



**Centre scientifique et technique
Service EAU**

3, avenue Claude-Guillemin
BP 6009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34