

AGENCE DE L'EAU LOIRE-BRETAGNE

LABORATOIRE GÉOHYDROSYSTÈMES CONTINENTAUX  
DE L'UNIVERSITÉ FRANÇOIS RABELAIS DE TOURS

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

## Cartographie de l'aléa érosif sur le bassin Loire-Bretagne

---

*projet VERSEAU*

DEGAN FRANCESCA (*Univ Tours*)

SALVADOR-BLANES SÉBASTIEN (*Univ Tours*)

CERDAN OLIVIER (*BRGM*)

2015





# Sommaire

<b>Sommaire</b>	<b>iii</b>
<b>1 Contexte</b>	<b>1</b>
1.1 L'érosion du sol et ses conséquences . . . . .	1
1.2 Cartographie existante et ses limites . . . . .	1
1.3 Proposition d'une nouvelle cartographie à l'échelle du bassin Loire-Bretagne . . . . .	5
1.4 Évaluation par expertise locale . . . . .	6
<b>2 Modèle MESALES-2014</b>	<b>9</b>
2.1 Occupation du sol . . . . .	9
2.2 Pédologie . . . . .	20
2.3 Topographie . . . . .	27
2.4 Climat . . . . .	30
2.5 Arbre de décision . . . . .	37
<b>3 Évaluation</b>	<b>43</b>
3.1 Préparation des réunions d'expertise . . . . .	43
3.2 Synthèse des réunions . . . . .	45
<b>4 Résultats</b>	<b>63</b>
4.1 Intégration . . . . .	63
4.2 Comparaison avec la cartographie précédente . . . . .	73
<b>5 Conclusions</b>	<b>75</b>
<b>A Occupation du sol</b>	<b>83</b>
<b>B Plaquette</b>	<b>91</b>
<b>Références bibliographiques</b>	<b>93</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>93</b>
<b>Table des figures</b>	<b>95</b>
<b>Table des matières</b>	<b>97</b>



# Chapitre 1

## Contexte

### 1.1 L'érosion du sol et ses conséquences

L'érosion hydrique est l'une des principales formes de dégradation des sols. Le terme désigne l'ensemble des processus de détachement, de transport et de sédimentation intervenant à la surface du sol à différentes échelles d'espace et de temps (Le Bissonnais et al., 1998). L'érosion est un phénomène naturel, qui peut néanmoins fortement être accentuée par l'action de l'homme. Dans certains contextes, le passage à une agriculture intensive est l'un des premiers facteurs de cette aggravation (Boardman et al., 2006).

L'érosion sur les terres agricoles peut avoir une incidence sur la productivité des sols au travers de l'amincissement de l'horizon de surface, de la dégradation des propriétés physiques des sols, voire de la disparition du sol dans les cas les plus sévères. Par ailleurs l'érosion diminue indirectement l'efficacité des intrants et implique donc l'emploi de davantage de fertilisants, d'eau et d'énergie pour conserver les mêmes rendements qu'auparavant. Les effets néfastes de l'érosion se font donc sentir plus fortement dans les systèmes qui ne les pallient pas grâce à des intrants extérieurs à l'exploitation que dans ceux conduits en conditions intensives (Lal, 2009). Les effets de l'érosion influencent également la qualité de l'eau. Les sédiments et polluants associés aux particules mises en mouvement par l'érosion hydrique provoquent une augmentation de la turbidité et de la pollution dans les masses d'eau (cours d'eau, lacs et rivières). L'accumulation progressive des sédiments réduit le volume des masses d'eau, entraîne leur colmatage et peut gêner le bon fonctionnement des ouvrages d'aménagements.

### 1.2 Cartographie existante et ses limites

La réduction des impacts de l'érosion hydrique des sols nécessite la mise en place d'outils pour identifier les zones d'actions prioritaires. L'ensemble de ces outils doit répondre à certaines questions posées par les gestionnaires, comme par exemple "où et à quel moment les phénomènes érosifs sont-ils susceptibles de se produire?", "quel est le niveau de probabilité que ce territoire soit touché par l'érosion?", "où faut-il intervenir de manière préférentielle?", etc. À cette fin, l'analyse spatiale et la cartographie permettent d'afficher la localisation, l'extension spatiale et temporelle, ainsi que le degré de probabilité d'occurrence des phénomènes érosifs. Par ailleurs, il est nécessaire d'utiliser une même méthodologie homogène sur l'ensemble du territoire, afin de pouvoir comparer et hiérarchiser les différentes zones qui le composent.

Différents approches cartographiques peuvent être employées selon l'approche recherchée. Parmi les différents choix possibles pour représenter et quantifier l'érosion, l'aléa érosif permet de prendre en compte non seulement la sensibilité propre d'un territoire à l'érosion mais également la probabilité que les phénomènes érosifs se produisent. Le terme "aléa" définit une probabilité d'occurrence d'un phénomène associée à un niveau d'intensité dans une période donnée. Sa cartographie vise donc à fournir un outil pour la prise de décision, particulièrement intéressant dans le cas du bassin Loire-Bretagne, qui présente une étendue spatiale importante et des situations locales très contrastées. De plus, l'aléa cartographié fournit une hiérarchisation qualitative de l'espace, sans avoir recours à des mesures quantitatives sur le terrain.

Sur le territoire de la Loire – Bretagne, aucune étude spécifique pour la cartographie de l'aléa érosif n'a été menée jusqu'à présent. La source d'information disponible actuellement est une extraction de la carte nationale de l'aléa érosif établie par application du modèle MESALES (Figure 1.1 INRA-IFEN 1998 - 2002 [Le Bissonnais et al., 2002b](#)), dont la méthodologie a été développée par l'INRA (IFEN, 1998)<sup>1</sup>. La carte a bénéficié d'améliorations successive, aux échelles européenne comme départementale ([Le Bissonnais et al., 1998](#); [Kirkby et al., 2003](#); [Cerdan et al., 2006a](#); [Desprats et al., 2006](#); [Surdyk et al., 2006](#)).

Le modèle MESALES vise à qualifier spatialement l'aléa érosif des versants cultivés, par saison et pour l'année entière. Les phénomènes érosifs modélisés sont l'érosion diffuse, en ravines et en rigoles sur le terrain. Le modèle comporte deux étapes principales. Tout d'abord la sensibilité des sols à l'érosion est calculée en combinant trois facteurs : les propriétés de sol, l'occupation du sol, la topographie. Dans un deuxième temps, l'ajout du facteur climatique permet de déduire l'aléa érosif à proprement parler (figure 1.2). Pour la caractérisation de ces quatre facteurs, le modèle MESALES INRA-IFEN (1998 - 2002) définit six variables (tableau 1.1) : occupation du sol, intensité de la pente, érodibilité, battance, hauteurs moyennes des pluies, intensité des pluies.

TABLEAU 1.1: Facteurs et variables de la modélisation MESALES INRA-IFEN (1998 - 2002).

Facteurs	Variables
Occupation du sol	occupation du sol
Topographie	intensité de la pente
Pédologie	érodibilité battance
Aléa climatique	hauteurs moyennes des pluies intensité des pluies

Deux aspects en particulier caractérisent le modèle MESALES INRA-IFEN :

- l'érosion de versant,
- la différenciation saisonnière de l'aléa.

Le phénomène simulé est l'érosion hydrique de versant. Les surfaces homogènes émettrices de particules solides sont identifiées avec des classes qualitatives d'aléa d'érosion. La force des eaux du ruissellement est responsable de la mise en mouvement des particules. L'érosion de surface, à l'échelle d'un bassin versant, est composée de l'érosion diffuse (ravine et rigole) et de l'érosion linéaire ou de talweg<sup>2</sup>. Le facteur climatique (cumul de pluie et intensité) est variable selon les saisons. Dans certains milieux, ces différences sont plus marquées, ce qui implique des contrastes importants de l'aléa érosif entre les saisons.

1. [http://erosion.orleans.inra.fr/alea\\_france\\_version2000/index.html](http://erosion.orleans.inra.fr/alea_france_version2000/index.html).

2. Ligne de collecte des eaux.

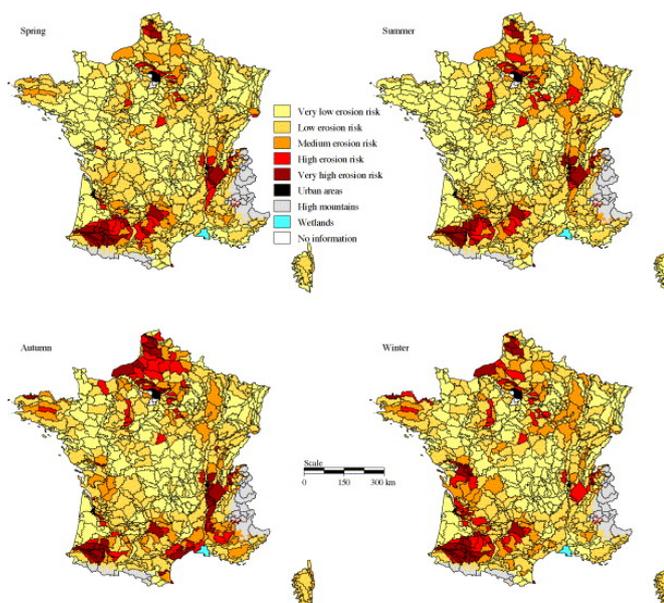


FIGURE 1.1: Cartographie de l'aléa érosif (d'après Le Bissonnais et al., 2002b).

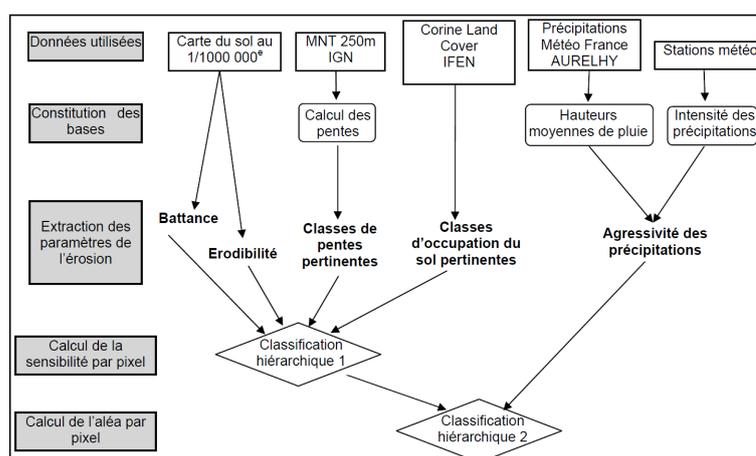


FIGURE 1.2: Organigramme des étapes de la construction de la carte d'aléa érosion de l'INRA-IFEN (d'après Dubreuil et al., 2003 in Colmar, 2006).

L'Onema et l'IRSTEA (Chandesris et al., 2009) ont également produit la base de données SYRAH, qui intègre une carte d'aléa érosion. La cartographie de l'aléa érosif dans la base de données SYRAH (Figure 1.3) apporte des innovations par rapport à celle de l'INRA-IFEN (1998 - 2002), notamment pour essayer de distinguer les différents types de terres arables. Les valeurs d'aléa érosif INRA-IFEN par zones hydrographiques ont en effet été pondérées grâce à un indice basé sur la classification des exploitations agricoles selon leur spécialisation et leur taille économique (basée sur les classes OTEX - Orientation technico-économique<sup>3</sup>) et sur le ratio de surface agricole utile. Cette approche apporte une amélioration dans la prise en compte de l'occupation du sol pour certaines surfaces cultivées. En effet, cette méthodologie permet de différencier les types d'exploitation agricole, sans néanmoins prendre en compte la saisonnalité des rotations culturales. Par ailleurs, les évolutions saisonnières et l'ensemble des classes d'occupation du sol ne sont pas prises en compte.

3. <http://agreste.agriculture.gouv.fr/definitions/otex-pbs/>

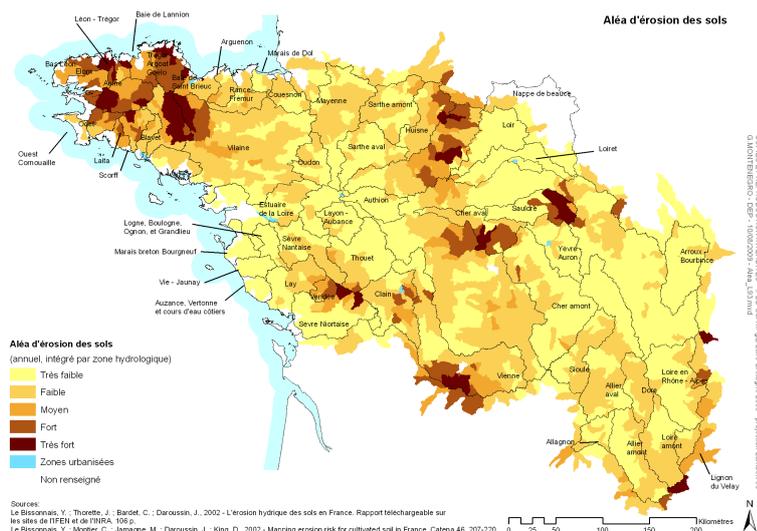


FIGURE 1.3: Cartographie de l'aléa érosif (source : base SYRAH Chandresris et al., 2009).

Les limites de la cartographie de l'INRA-IFEN (1998 - 2002) présente dans le SDAGE 2010-2015 peuvent être synthétisées en trois points : i) la résolution des bases de données, ii) l'évolution temporelle de l'occupation du sol et iii) l'évaluation de la cartographie produite.

i) La résolution spatiale des données d'entrée correspond à 250 m pour la topographie, à 90 m pour l'occupation du sol et à une échelle de 1/1 000 000 pour les sols. À l'heure actuelle, d'autres bases de données sont disponibles pouvant fournir une information plus précise pour la cartographie. La carte des sols reste cependant limitante.

ii) L'aléa érosif de l'INRA-IFEN fait la distinction entre les saisons grâce à l'aléa climatique. Par contre, les variations saisonnières d'occupation du sol et donc de couverture du sol ne sont pas intégrées. De même, l'évolution de l'occupation du sol sur plusieurs années au cours d'un cycle de rotation culturale n'est pas prise en compte. En effet, le taux de couverture du sol change selon les saisons, les espèces végétales et les pratiques d'entretien de la surface en milieu agricole. Ceci entraîne une variation saisonnière de la sensibilité des territoires à l'érosion. Cette limite est en grande partie due à l'utilisation de la base de données Corine Land Cover qui ne discrimine pas suffisamment les différentes classes des terres cultivées.

iii) Ces modélisations régionales sont extrêmement difficiles à évaluer du fait du manque de données de référence de mesure d'érosion. La carte MESALES INRA-IFEN (1998 - 2002) n'a ainsi jamais été comparée à d'autres formes de mesure d'érosion. Néanmoins, un premier exercice d'évaluation par les acteurs locaux d'une cartographie régionale MESALES a été effectué en Bretagne (Colmar, 2010). Cet exercice apparaît intéressant pour deux raisons. En effet, même s'il n'apporte pas une validation *sensu stricto*, il permet d'identifier les limites de la cartographie, notamment liées aux particularités locales et permet également aux acteurs locaux de s'approprier les résultats de l'étude.

### 1.3 Proposition d'une nouvelle cartographie à l'échelle du bassin Loire-Bretagne

Des premiers essais de réadaptation du modèle MESALES à l'échelle départementale ont été effectués (Cerdan et al., 2006a). Ces applications départementales ont permis de constater la souplesse et la robustesse de la structure du modèle MESALES. Pour cette raison, nous avons décidé de repartir sur la même approche de modélisation. Du fait des limites exposées dans le paragraphe précédent, nous proposons d'améliorer le modèle MESALES, notamment en terme de résolution spatiale. Le territoire de la Loire-Bretagne présente toutefois une extension territoriale très vaste (155 000 km<sup>2</sup>). De plus, le découpage administratif et la gestion des bases de données à gérer et à homogénéiser ajoutent un défi supplémentaire à l'amélioration du modèle. L'application du modèle MESALES au bassin Loire-Bretagne nous a amené à synthétiser les caractéristiques des bases de données disponibles sur toute la zone d'étude.

Une fois ces bases de données identifiées, nous avons choisi et calculé les variables représentant les quatre facteurs à l'origine des phénomènes érosifs. Sur la base de ces quatre facteurs nous avons ainsi défini sept variables nécessaires au calcul de l'aléa érosif. Ces variables ont été développées à partir d'une recherche bibliographique et de l'analyse des bases de données disponibles et homogènes à l'échelle du territoire. Le tableau 1.2 montre la correspondance entre facteurs érosifs du modèle MESALES et les sept variables calculées.

TABLEAU 1.2: Facteurs et variables de la modélisation.

Facteurs	Variables
Occupation du sol	taux de couverture du sol
Topographie	intensité de la pente aire drainée
Pédologie	érodibilité battance et ruissellement
Aléa climatique	cumul de pluie moyen par saison sur 13 ans intensité de pluie par saison sur 13 ans

Les principales améliorations mises en œuvre sont les suivantes :

- **Occupation du sol** : L'occupation du sol est reconnue comme étant le premier facteur déterminant la sensibilité des sols à l'érosion. Nous avons choisi de la traduire par le taux de couverture du sol qui permet de mieux prendre en compte la sensibilité de la surface du sol à l'érosion, que la calcification en type d'occupation du sol. La couverture du sol ne peut être appréhendée par une seule base de données et l'intégration d'information de provenances différentes a été nécessaire. Les bases de données utilisées sont : le Registre Parcellaire Graphique (RPG), le Recensement Général Agricole (RGA) et Corine Land Cover (CLC). Le RPG permet d'augmenter la résolution spatiale et le RGA permet de prendre en compte certaines variabilités saisonnières. Néanmoins, tout le territoire (notamment les zones non agricoles) n'est pas couvert par le RPG. La base CLC a été donc utilisée là où l'information à haute résolution est manquante.
- **Topographie** :  
La base de données utilisée pour le calcul du facteur pente est le MNT de l'IGN au pas de 50m. Par rapport à la modélisation précédente, nous avons intégré les recommandations de Cerdan et al., 2006a, combinant la pente et l'aire drainée.
- **Sol** :

Les données pédologiques utilisées sont contenues dans la base SGDBE<sup>4</sup> à l'échelle du 1/1 000 000. Des bases de données pédologiques à 1/250 000 existent actuellement en France. Elles sont élaborées dans le cadre du programme "Référentiel Régional Pédologique" qui n'est pas encore finalisé sur l'intégralité du territoire<sup>5</sup>. Les deux facteurs "battance" et "érodibilité" ont néanmoins été améliorés. Le caractère sableux et le taux d'éléments grossiers des sols ont mieux été pris en compte, permettant ainsi d'obtenir une variable modifiée appelée "battance/ruissellement". Cette nouvelle variable diminue la sensibilité à l'érosion des sols sableux filtrants, ce qui n'était pas pris en compte dans la modélisation précédente. Nous avons également intégré les recommandations du BRGM pour le facteur "érodibilité" (Cerdan et al., 2006a), qui est ainsi diminué pour les sols avec un taux d'éléments grossiers élevé.

— **Climat :**

La base de données climatique utilisée est la base SAFRAN (MétéoFrance). Celle-ci donne le cumul de pluie en mm/jour, pour une maille de 8 km. Grâce à cette nouvelle base de données, nous avons mis à jour les résultats pour la période 1998 - 2010 et nous avons adapté le seuil d'intensité des pluies au territoire de la Loire-Bretagne.

— **Arbre de décision :**

La dernière amélioration concerne la combinaison des paramètres. En effet, suite aux améliorations du facteur occupation du sol, l'arbre de décision est enrichi de nouvelles branches. Cela permet de faire la distinction pour les sols cultivés en fonction des types de cultures, alors qu'ils correspondaient auparavant à une seule branche "terres arables".

— **Restitution cartographique :**

Le résultat de la modélisation consiste en cinq cartes d'aléa (une par saison et une carte annuelle). La résolution spatiale de ces cartes est de 50 m. Cette résolution n'est pas pertinente pour les gestionnaires de l'ensemble du bassin, l'unité de gestion étant le bassin versant de masse d'eau. Par ailleurs, compte tenu des résolutions variables des données d'entrée, la résolution optimale est fixée à 1 km. Par conséquent, deux types de cartes sont restitués :

- une carte opérationnelle pour le gestionnaire, correspondant à une valeur d'aléa érosif par bassin versant de masse d'eau,
- une carte d'aléa re-échantillonnée à une résolution de 1 km.

La figure 1.4 montre les innovations que nous avons apportées au modèle par rapport à la première version (figure 1.2). Nous avons nommé l'ensemble des adaptations "MESALES-2014".

## 1.4 Évaluation par expertise locale

L'évaluation de la cartographie est une étape importante de l'étude. Elle permet en effet de prendre en compte l'adéquation globale du modèle à la problématique étudiée, d'afficher les particularités locales et de présenter les résultats aux acteurs locaux. Différentes modalités d'évaluation peuvent être appliquées, en fonction des interlocuteurs et des informations disponibles. À l'heure actuelle il n'existe pas de structures chargées de l'observation des phénomènes érosifs. Toutefois, divers organismes (publics et privés) travaillent sur des thématiques proches de l'érosion des sols. L'expertise locale (expérience directe du terrain ou analyse et synthèse des

4. Soil Geographical Data Base of Europe at Scale 1 :1 000 000 version 3.2.8.0, 10/09/1998

5. Donesol v.3 IGCS.

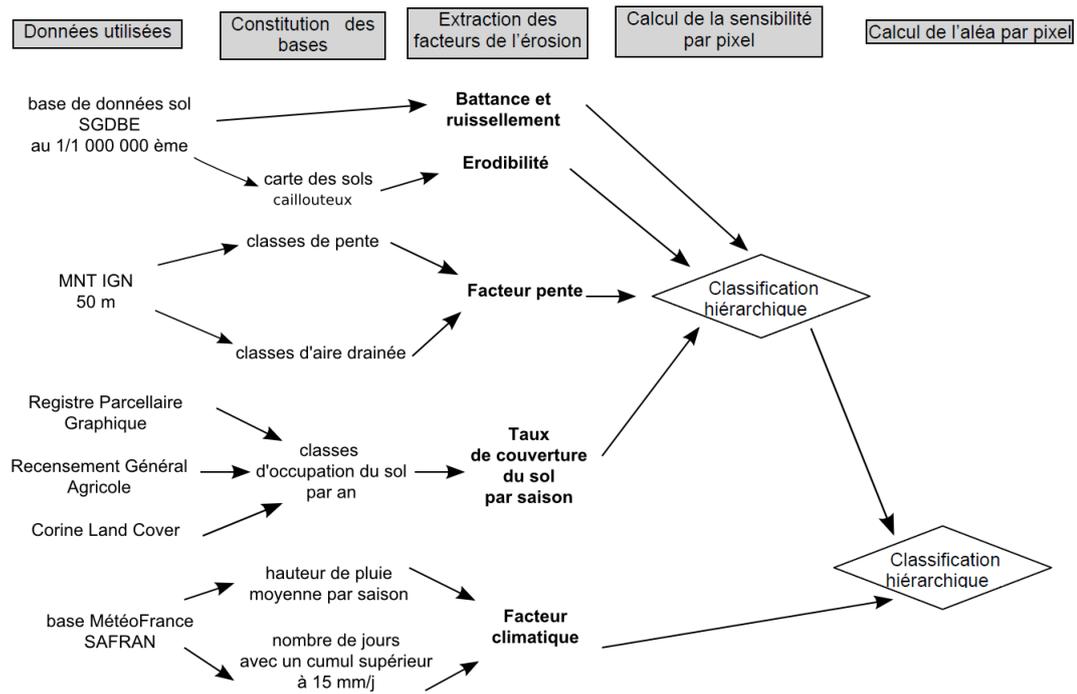


FIGURE 1.4: Organigramme des étapes de la construction de la carte d'aléa érosif pour l'application en Loire-Bretagne (réadapté d'après Dubreuil et al., 2003 et d'après Colmar, 2006).

études effectuées) a donc été employée dans la phase d'évaluation. En plus des spécialistes de l'érosion - peu nombreux -, les professionnels de structures variées ont pu apporter des éléments complémentaires à l'analyse des facteurs érosifs sur un territoire spécifique. Les points de vue très divers des acteurs interviewés peuvent amener à des difficultés importantes lors de l'interprétation des résultats. L'élaboration d'une méthodologie de création du questionnaire et de la conduite d'entretien s'avère donc nécessaire. Les observations sur les versants et les cours d'eau peuvent également fournir indirectement des éléments pour une réflexion sur le cœur du modèle, et sur les combinaisons des facteurs dans l'arbre de décision.

Le rapport s'organise en cinq chapitres. Après ce premier chapitre de contexte, le chapitre suivant, "2 - Modèle MESALES-2014", expose la mise en œuvre de la nouvelle méthodologie. Le chapitre "3 - Évaluation" fournit une synthèse de l'évaluation du modèle par les acteurs locaux. Les résultats de l'analyse spatiale sont présentés dans le chapitre "4 - Résultats". Enfin, les limites, les perspectives et les conclusions de l'étude se trouvent dans le chapitre "5 - Conclusions".



## Chapitre 2

# Modèle MESALES-2014

La mise en place et la réalisation de la nouvelle cartographie, qui ont abouti à la version du modèle "MESALES-2014", ont concerné d'une part les facteurs et de l'autre la structure du modèle. Ce chapitre présente donc les améliorations concernant :

- les bases de données utilisées, les modalités de calcul pour quantifier les quatre facteurs du modèle (occupation du sol, topographie, pédologie et climat)
- la structure du modèle.

### 2.1 Occupation du sol

#### 2.1.1 Objectifs

Dans l'arbre de décision, la première donnée d'entrée est l'occupation du sol. Nos objectifs de modélisation sont :

- de prendre en compte l'état de couverture de la parcelle par rapport à la force érosive des pluies.
- de se positionner à une échelle saisonnière. Ceci correspond à une modification importante du modèle, qui ne faisait pas évoluer l'occupation du sol en fonction des saisons. Les nouvelles bases de données disponibles nous permettent de palier à ce manque. En effet, les changements saisonniers des couvertures des sols agricoles, associés à l'aléa climatique de chaque saison, peuvent modifier significativement la localisation des zones sensibles.
- de prendre en compte les changements de l'occupation du sol d'une année sur l'autre.

#### 2.1.2 Base de données disponibles

À partir des objectifs de modélisation, les informations spatialisées pour modéliser l'occupation du sol doivent répondre aux caractéristiques suivantes :

- Classifier le type d'occupation du sol pour prendre en compte les différences entre les cultures semées au printemps et celles semées en hiver ;
- Fournir le changement d'occupation du sol sur plusieurs années consécutives ;
- Avoir une résolution spatiale au niveau de la parcelle.

Les bases de données et les informations sur les rotations agricoles limitent les possibilités de modélisation en Loire-Bretagne. L'analyse de données s'est déroulée en trois phases :

- 1 L'exploration des bases de données durant laquelle les nomenclatures des bases sont confrontées entre elles et homogénéisées.
- 2 L'analyse des classes d'occupation du sol susceptibles d'avoir une différence saisonnière vis-à-vis de la sensibilité des sols à l'érosion. Les classes d'occupation du sol pour toutes les bases de données ont ainsi été séparées en deux groupes : les classes d'occupation du sol qui ont tout le temps la même influence sur la sensibilité à l'érosion et celles qui l'influencent différemment selon les saisons.
- 3 La combinaison des informations pluriannuelles dans une information qui synthétise la probabilité d'un taux de ces couvertures du sol.

Les données spatiales disponibles sur tout le bassin versant et correspondant aux trois critères décrits sont :

- le Registre Parcellaire Graphique,
- le Recensement Général Agricole,
- Corine Land Cover.

Le **Registre Parcellaire Graphique** constitue la principale source d'information employée. Il donne des informations sur les terres agricoles qui ont bénéficié des aides européennes pour une année donnée. Le RPG renseigne, entre autres, la culture dominante par îlot parcellaire (regroupement de parcelles). Lorsque le travail de modélisation a été effectué (2012), l'information était disponible sur trois ans : 2008-2009-2010. Toutefois, cette base de données présente deux limites :

- Les 28 classes (tableau 2.1) de cultures représentent de façon partielle la répartition entre cultures semées au printemps et cultures semées en hiver, cela concerne surtout certaines classes de céréales (orge, blé, autres céréales) en hiver. Afin d'effectuer une différenciation des classes du RPG entre cultures de printemps et cultures d'hiver, les statistiques départementales du Recensement Général Agricole sont employées.
- Toutes les surfaces agricoles ne sont pas représentées par cette base de données. En effet, les surfaces qui n'ont pas reçu d'aides PAC n'y sont pas recensées. Cette limite est levée en partie par l'utilisation de la base Corine Land Cover.

Le **Recensement Général Agricole**<sup>1</sup> fournit un état des lieux de l'agriculture française. Il a lieu tous les 10 ans, sur tout le territoire national. Les résultats sont accessibles gratuitement sur internet. Le Recensement Général Agricole de 2010 au niveau départemental donne la surface en ha pour 59 occupations du sol (en Annexe A : tableaux A.1 et A.2). Parmi celles-ci, 26 classes permettent de différencier 6 des 28 classes du RPG :

- blé : blé d'hiver et blé de printemps,
- orge : orge d'hiver et orge de printemps,
- autres céréales :
  - hiver : avoine d'hiver, mélanges d'hiver, triticale, seigle,
  - printemps : avoine de printemps, mélanges et autres cultures de printemps, sorgho-grain.
- autres oléagineux : soja, lin oléagineux
- protéagineux : pois protéagineux, fève, féverole, lupin doux
- autres cultures industrielles : betterave industrielle, tabac.

---

1. <http://agreste.agriculture.gouv.fr/recensement-agricole-2010/presentation/>

TABLEAU 2.1: Classes d'occupation du sol du Registre Parcellaire Graphique.

Classe	Nomenclature
0	Pas d'information
1	Blé tendre
2	Mais grain et ensilage
3	Orge
4	Autres céréales
5	Colza
6	Tournesol
7	Soja
8	Pois protéagineux
9	Plantes à fibres
10	Semences
11	Gel surfaces gelées sans production
12	Gel industriel
13	Autres gels
14	Riz
15	Légumes secs
16	Fourrage
17	Estives landes
18	Prairies permanentes
19	Prairies temporaires
20	Vergers
21	Vignes
22	Fruits à coque
23	Oliviers
24	Autres cultures industrielles
25	Légumes-fleurs
27	Arboriculture
28	Divers

La base **Corine Land Cover** (2006) se fonde principalement sur l'interprétation d'images satellitaires et existe à l'échelle européenne. L'échelle de production est le 1/100 000. À l'heure actuelle, 3 millésimes de la base CORINE Land Cover existent en Europe : 1990, 2000 et 2006. La base CLC est hiérarchisée en 3 niveaux par un code à trois chiffres (tableau A.3). Le premier niveau (5 postes) correspond aux grandes catégories d'occupation du sol repérables à l'échelle de la planète. Le second niveau (15 postes) est utilisable pour les échelles de 1/500 000 et 1/1 000 000. Le troisième niveau (44 postes) est utilisé au 1/100 000. Les limites de cette base de données sont :

- la résolution spatiale ;
- la nomenclature qui regroupe dans une même classe différents types d'occupation du sol (exemple : "systèmes parcellaires et cultureux complexes" (242) et "territoires principalement occupés par l'agriculture, avec présence de végétation naturelle importante" (243)).

La base CLC est employée dans les zones non renseignées par le RPG.

### 2.1.3 Méthodologie

L'objet essentiel de cette partie consiste à rendre compte d'un état de protection du sol vis-à-vis de la pluie. Pour cela, nous avons défini une variable de degré de couverture du sol par les plantes appelée "taux de couverture du sol". Au sein d'une parcelle agricole, ce taux

correspond au pourcentage de sol recouvert par la plante. Il évolue donc en fonction de sa croissance. Typiquement, un blé non tallé correspond à un sol considéré comme nu pour la problématique érosion. La figure 2.1 montre les grandes étapes du calcul du taux de couverture du sol. L'objectif final vise à réinterpréter la nomenclature des bases de données afin d'obtenir les classes d'occupation du sol du tableau 2.2.

Le principal travail consiste à affecter, pour les terres arables, un taux annuel de couverture du sol à chacune des années disponibles du RPG (2008 - 2009 - 2010) (**première étape**). Dans un second temps, ce taux est intégré afin d'obtenir une seule carte par saison (**deuxième étape**). Enfin, les données de la base CLC sont employées pour les surfaces où il n'y a d'information du RPG sur aucune de trois années (**troisième étape**).

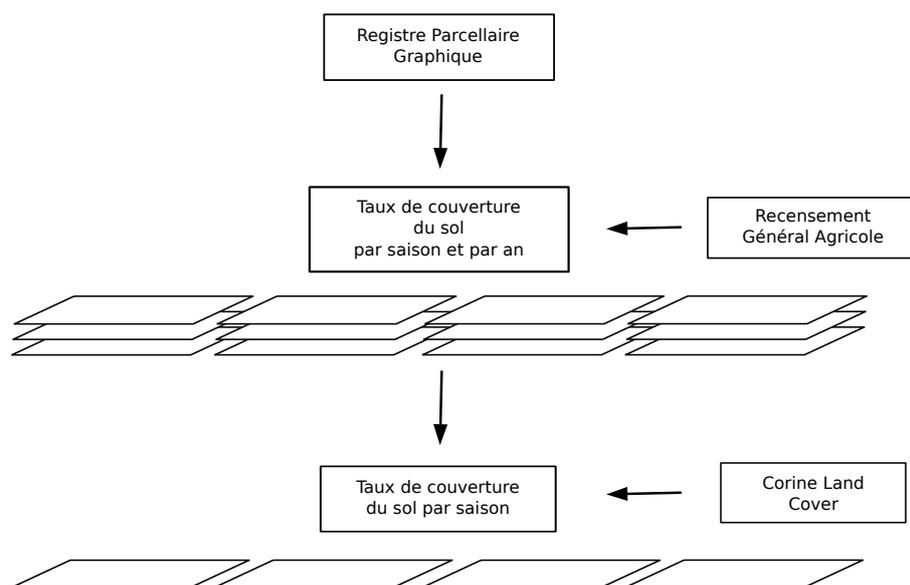


FIGURE 2.1: Les étapes pour construire l'indice du taux de couverture du sol.

TABEAU 2.2: Classification du taux de couverture du sol.

Code	Libellé
1	Sol nu 3/3 ans
2	Sol nu 2/3 ans
3	Sol nu 1/3 ans
5	Sol semi-couvert et couvert 3/3 ans
6	Espace naturel dégradé
7	Prairie et pâturage
8	Forêt

**Première étape : attribution du taux de couverture du sol par an et par saison pour les terres arables** L'objectif de cette partie est de re-classifier la nomenclature de l'occupation du sol pour obtenir un taux de couverture selon les classes suivantes :

- 1 : sol nu,
- 2 : sol partiellement couvert,
- 3 : sol couvert.

**Principe** Les cultures annuelles ont un taux de couverture de sol qui évolue au cours de la saison. Il est donc nécessaire d'établir un calendrier du taux de couverture du sol pour chaque occupation du sol. Ce calendrier découle du calendrier agricole spécifique à chaque culture et des pratiques culturales les plus courantes (figure 2.2). Par exemple, une culture sera considérée dans la classe "sol nu" (classe 1) du semis jusqu'à un développement végétatif significatif, dans la classe "sol partiellement couvert" (classe 2) pendant la croissance de la plante et dans la classe "sol couvert" (classe 3) jusqu'à la récolte. De plus, si cette culture implique une quantité significative de résidus culturaux, la culture sera considérée dans la classe "sol couvert" jusqu'au prochain travail du sol. Enfin, nous avons considéré que la majeure partie des surfaces en cultures de printemps du territoire de la Loire-Bretagne est précédée en hiver par une culture intermédiaire. Sachant qu'un grand nombre de systèmes de gestion des cultures intermédiaires existent, nous avons choisi d'y affecter la classe "sol partiellement couvert" (classe 2).

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Semis	[Barre verte]											
Récolte	[Barre rouge]											
Blé tendre d'hiver												
Blé tendre de printemps												
Blé dur d'hiver												
Blé dur de printemps Nord de la Loire												
Blé dur de printemps Sud de la Loire												
Orge, escourgeon d'hiver												
Orge, esc. de printemps Nord de la Loire												
Orge, esc. de printemps Sud de la Loire												
Avoine d'hiver												
Avoine de printemps												
Seigle												
Triticale												
Maïs												
Sorgho												
Riz												
Colza d'hiver Bassin parisien												
Colza d'hiver Sud-Ouest												
Colza de printemps												
Tournesol												
Soja												
Féveroles												
Pois secs Nord												
Pois secs Sud												
Lupin doux												
Betteraves												
Pommes de terre												

FIGURE 2.2: Calendrier agricole (source : Agreste <sup>a</sup>).

a. [http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/calend\\_paru\\_gcult.pdf](http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/calend_paru_gcult.pdf)

**Prise en compte du RGA** Comme énoncé précédemment, le RPG ne permet pas de distinction pour les cultures qui peuvent être soit d'hiver soit de printemps (blé, orge, autres céréales). Cette dernière distinction est opérée par l'emploi du RGA. Nous avons calculé le pourcentage relatif d'une culture d'hiver et de printemps par département (en Annexe A : tableau A.4).

**Cas particuliers** Certaines classes d'occupation du sol présentent un caractère particulier. Il s'agit notamment des cultures permanentes et de la classe "semences". Les cultures permanentes, comme les vignes, les vergers, les fruits à coque et l'arboriculture ont été affectées à la classe "sol nu". Ce choix est notamment guidé par l'occupation du sol "vigne", qui est la culture qui entraîne le plus d'érosion à l'échelle nationale. Les vignobles qui pratiquent un enherbement total et permanent sont de fait pénalisés. Cette technique est cependant très loin d'être généralisée et elle n'est, de plus, recensée dans aucune base de données. Il s'agit ici de ne pas négliger un risque possible en cas d'absence de couvert.

Pour donner une notation de taux de couverture du sol à la classe "semences", les pourcentages relatifs des cultures qui nécessitent la production et la commercialisation de semences ont été calculés pour chaque département. Ensuite, les pixels appartenant aux classes "semences" ont été affectés aléatoirement aux cultures concernées. Toutefois, il faut garder à l'esprit que les superficies concernées par la classe "semences" sont très faibles pour l'ensemble de la Loire-Bretagne.

Enfin, les classes "divers", "autres gels" et "pas d'information" ont été classifiées comme zones avec absence de données. Les classes "divers" et "autres gels", ne fournissent en effet aucune information sur les cultures.

Les taux de couverture du sol sont présentés ci-dessous dans le tableau 2.3. Ces valeurs sont affectées aux base de données. Cette première partie du traitement des données, permet d'obtenir une carte du taux de couverture du sol par saison et pour chacune des trois années 2008 - 2009 - 2010.

TABLEAU 2.3: Classification du taux de couverture de sol par saison.

Cl.	Libellé	hiver	print.	été	aut.
1	Blé tendre : hiver	1	2	3	1
2	Blé tendre : printemps	2	1	3	2
3	Mais grain et ensilage	2	1	3	3
4	Orge : hiver	1	2	3	1
5	Orge : printemps	2	1	3	2
6	Autres Céréales : hiver	2	2	3	1
7	Autres Céréales : printemps	1	1	3	2
8	Colza	1	2	3	1
9	Tournesol	2	1	3	3
10	Soja	2	1	3	3
11	Lin oléagineux	2	2	3	1
12	Pois protéagineux	1	2	2	1
13	Fève, féverole	1	2	3	1
14	Lupin doux	1	2	2	1
15	Plantes à fibres (chanvre)	1	2	3	1
16	Semences				
17	Gel	3	3	3	3
18	Gel industriel	3	3	3	3
19	Autres gels				
21	Légumes secs (haricot)	1	1	2	2
22	Fourrage	7	7	7	7
23	Estives landes	7	7	7	7
24	Prairies permanentes	7	7	7	7
25	Prairies temporaires	7	7	7	7
26	Vergers	1	1	1	1
28	Vignes	1	1	1	1
30	Fruits a coque	1	1	1	1
32	Betterave industrielle	2	1	3	2

Cl.	Libellé	hiver	print.	été	aut.
33	Tabac	1	2	3	2
34	Légumes-fleurs	3	3	3	3
35	Arboriculture	1	1	1	1

**Deuxième étape : intégration par saison des trois années de taux de couverture du sol** Les cartes par saison du taux de couverture du sol pour les trois années sont combinées ensemble pour obtenir une seule carte par saison. La combinaison des trois codes à un chiffre sur les trois années donne un code à trois chiffres qui est reclassé dans une nouvelle nomenclature, appelée COUVERT (tableaux 2.4 et 2.5).

TABLEAU 2.4: Classification du taux de couverture du sol.

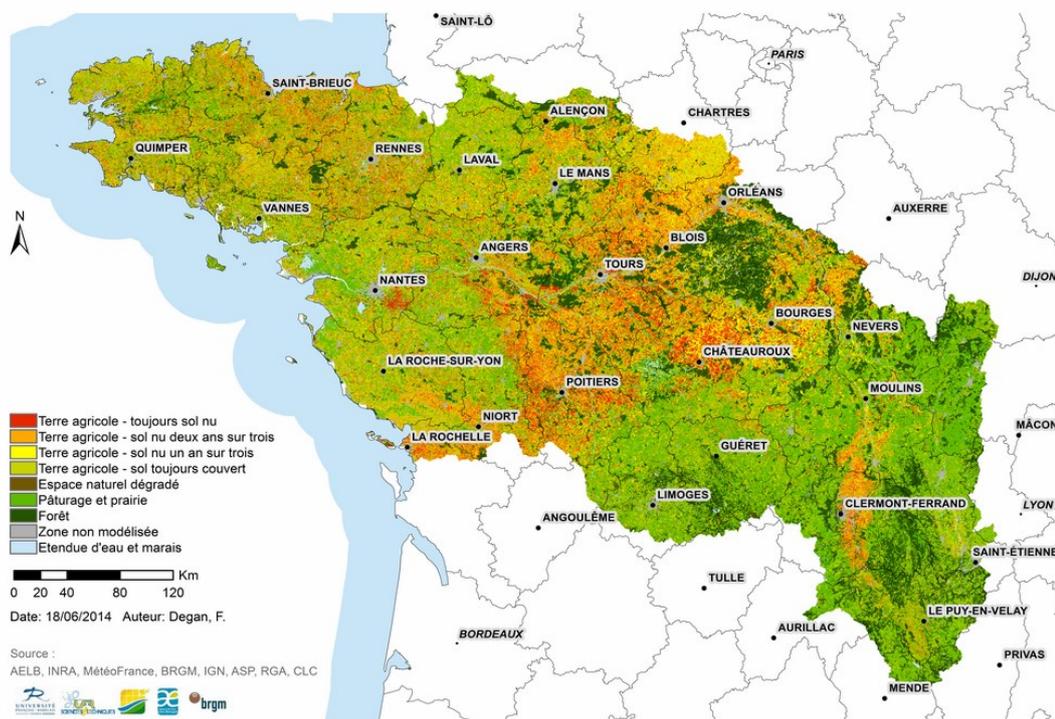
Code COUVERT	Libellé
1	Sol nu 3/3 ans
2	Sol nu 2/3 ans
3	Sol nu 1/3 ans
5	Sol semi-couvert et couvert 3/3 ans
6	Espace naturel dégradé
7	Prairie et pâturage
8	Forêt
11	Zone urbanisée
55	Étendue d'eau et zone humide

TABLEAU 2.5: Code couvert issu de la classification du code à trois chiffres, obtenu pour chaque saison, suite à la combinaison des trois années du RPG (2008 - 2009 - 2010). COUV = code COUVERT ; comb. = combinaison

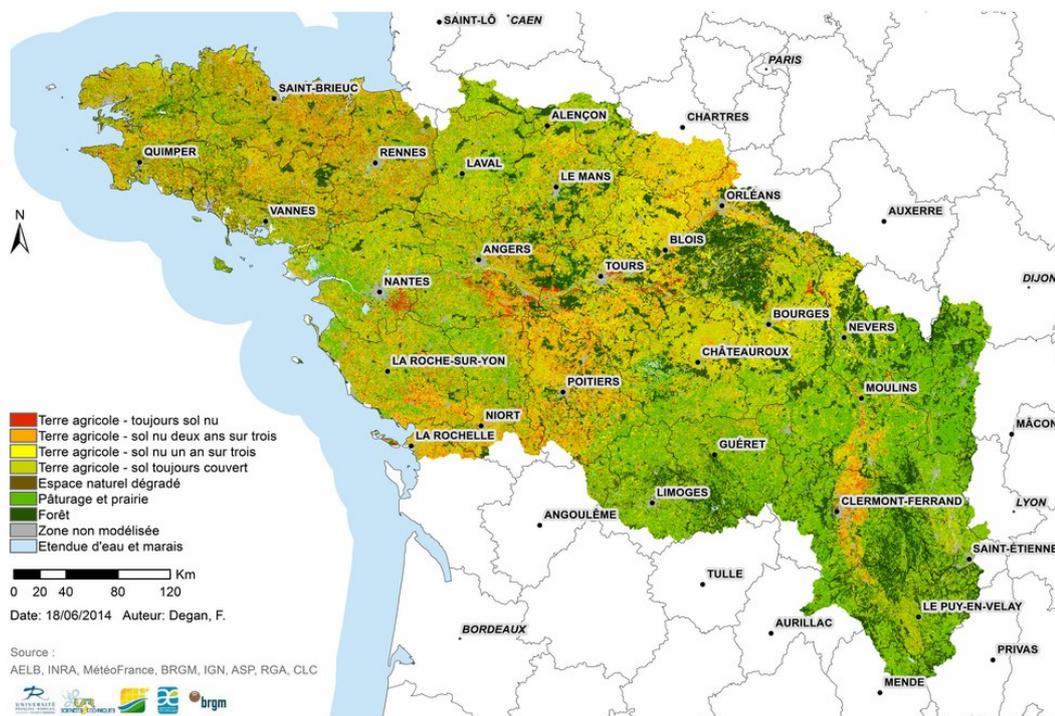
COUV. 1	2	2	3	3	5	5	5	5	7
<b>Comb.</b> 111	112	201	122	271	222	322	722	022	377
110	113	200	123	312	223	323	723	023	737
101	117	311	127	313	227	327	727	027	773
011	120	310	133	321	232	332	732	032	777
010	131	301	137	331	233	333	733	033	370
001	130	711	172	371	237	337	772	030	307
100	171	710	173	712	230	372	702	072	730
	102	701	212	717	273	373	720	003	770
	121	012	132	317	220	300			703
	170	013	177	713	272	302			707
	103	017	213	721	277	303			700
	107	021	217	731	270	320			037
	211	020	221	771	202	330			073
	210	031	231		203				077
		071			207				070
		002							007

**Troisième étape : intégration spatiale des données de la base Corine Land Cover**

Le RPG représente une surface très importante des zones cultivées en Loire-Bretagne. Pour prendre en compte les surfaces agricoles qui ne sont pas présentes dans le RPG, ainsi que les occupations du sol non agricoles (zones urbanisées, forêts etc.), nous avons utilisé par défaut la base CLC (reclassification selon le tableau A.5). Les cartes du taux de couverture du sol résultantes sont présentées dans les figures 2.3 et 2.4

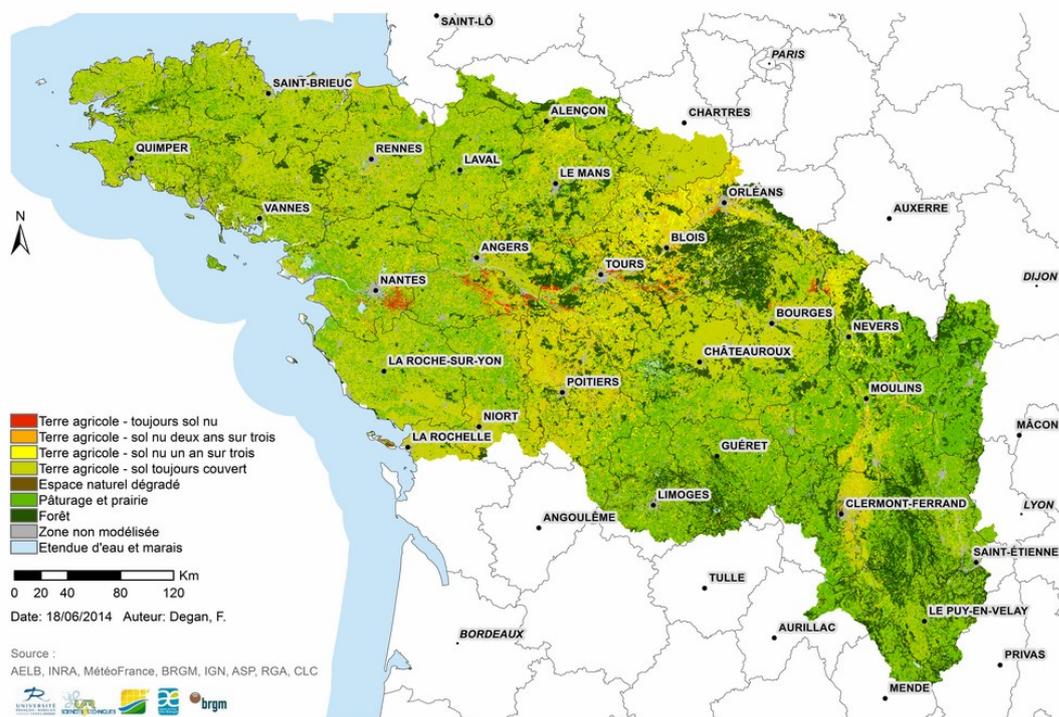


(A) hiver

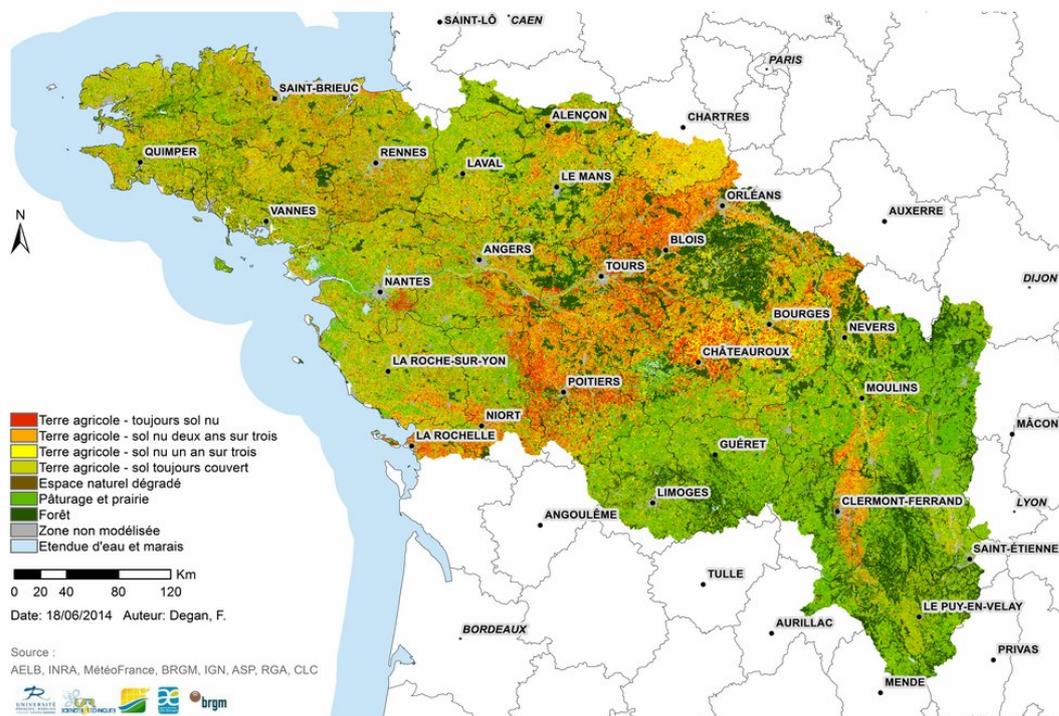


(B) printemps

FIGURE 2.3: Taux de couverture du sol (1)



(A) été



(B) automne

FIGURE 2.4: Taux de couverture du sol (2)

**Occupation du sol**

- Le taux de couverture du sol, et en particulier les périodes de sol nu, permet de préciser la sensibilité des sols à l'érosion
- Trois bases de données sont utilisées de façon complémentaire : le Registre Parcellaire Graphique (RPG), Corine Land Cover (CLC) et le Recensement Général Agricole (RGA).
- Le RPG permet d'augmenter la résolution spatiale des résultats.
- Le RGA permet la prise en compte de la variabilité saisonnière.
- La base CLC a été utilisée là où l'information spatiale à haute résolution était manquante.

## 2.2 Pédologie

### 2.2.1 Données disponibles

Les bases de données pédologiques présentes sur le territoire de la Loire-Bretagne sont de trois types :

- base de données des sols de France au 1/1 000 000ème (SGDBE - Soil Geographical Database of Eurasia<sup>2</sup>, [European Commission, 2004](#)),
- le Référentiel Régional Pédologique (RRP), au format DONESOL, au 1/250 000ème,
- la base de données au 1/50 000ème (Chambres d'Agriculture Départementales de la Région Centre et du département de la Vienne).

La cartographie SGDBF (SGDBE - Soil Geographical Database of France/Eurasia) est homogène sur tout le territoire de la Loire-Bretagne. L'échelle spatiale au 1/1 000 000ème est transformée en résolution de 250 m pour l'analyse spatiale, par le biais d'algorithmes cartographiques ([Hengl, 2006](#); [Vink, 1975](#)). Les informations sur les caractéristiques des sols sont suffisantes pour calculer les facteurs pédologiques relatifs au modèle. Les règles de pédotransfert pour les données présentes dans cette base ont fait l'objet de différentes études (e.g. [Daroussin and King, 1996](#)).

Le RRP existe sur 5 régions du bassin Loire-Bretagne (Bretagne, Bourgogne, Languedoc-Roussillon, Poitou-Charentes, Rhône-Alpes). Les régions Centre, Pays-de-la-Loire et Auvergne ne sont couvertes que partiellement et le Limousin et la Basse Normandie n'ont pas encore de base RRP validée. L'INRA Infosol<sup>3</sup>, le Groupement d'Intérêt Scientifique "GIS SOL"<sup>4</sup> et le Réseau Mixte Technologique (RMT) "Sol & Territoire"<sup>5</sup> sont chargés de centraliser et coordonner la cartographie au 1/250 000ème. Les financements et la réalisation de la cartographie restante sont gérés localement par les partenaires du réseau. L'homogénéisation des protocoles de collecte de données et de mise en forme des bases entre les différentes régions n'est pas encore assurée complètement (INRA d'Orléans, US InfoSol). La validité des résultats n'est par ailleurs assurée que dans le périmètre de chaque base de données. Ainsi, la mise en commun des différentes bases n'est pas toujours appropriée. L'échelle permet par contre d'avoir une résolution d'environ 60 m et les informations contenues dans la base sont tout à fait suffisantes pour l'application de règles de pédo-transfert au modèle MESALES ([Cerdan et al., 2006b](#)).

La base au 1/50 000ème a été développée dans certains départements de la région Centre et dans le département de la Vienne par les Chambres d'Agriculture, avec la supervision scientifique de l'INRA (US-InfoSol). Les informations présentes permettent de réadapter les règles de pédo-transfert du RRP grâce à l'expertise des pédologues locaux. Certains départements ont élaboré des cartes du ruissellement<sup>6</sup> pour des applications locales (conseil agricole, DDT).

La disponibilité et l'état d'avancement des cartographies au 1/50 000ème et au 1/250 000ème n'ont pas permis leur utilisation pour ce projet. Néanmoins, les conventions d'utilisation des bases de données pédologiques pour la modélisation de l'érosion ont été signées et les bases de

---

2. D'après l'European Soil Database v2.0 [eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/esdac/esdac\\_access2.cfm](http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/esdac/esdac_access2.cfm)

3. [www.val-de-loire.inra.fr/Les-poles-de-recherches/Dynamique-des-sols-et-gestion-de-l-environnement/US-InfoSol2](http://www.val-de-loire.inra.fr/Les-poles-de-recherches/Dynamique-des-sols-et-gestion-de-l-environnement/US-InfoSol2)

4. [www.gissol.fr/index.php](http://www.gissol.fr/index.php)

5. [www.sols-et-territoires.org/](http://www.sols-et-territoires.org/)

6. CA de l'Indre. contact : Joël Moulin

données ont été collectées. Toutefois, les résultats ne peuvent pas encore être diffusés, du fait de la nécessité d'homogénéisation des bases au niveau national.

### 2.2.2 Règles de pédotransfert pour l'érodibilité, la battance et le ruissellement

Les propriétés des sols influençant leur sensibilité à l'érosion dans le modèle MESALES sont la battance et l'érodibilité (Le Bissonnais et al., 2002a). La battance indique la propension des sols à former en surface une couche peu perméable, plus ou moins épaisse. La déstructuration des agrégats de sol et le remplissage de la porosité par les particules de sols désagrégées forment une croûte de battance qui diminue l'infiltrabilité et la rugosité des sols en surface. La battance contribue aux phénomènes érosifs de type diffus et à l'augmentation du taux de ruissellement. Les sols mal structurés sont particulièrement sujets à la formation d'une croûte de battance.

L'érodibilité indique l'entraînement des particules du sol suite à la désagrégation des agrégats. L'érodibilité dépend de la stabilité structurale, de l'état physique de la surface et de la cohésion des particules à la surface du sol, qui déterminent leur propension à être mobilisées.

La battance et l'érodibilité sont caractérisées par d'autres propriétés de sols, comme l'agrégation des particules du sol, la stabilité des agrégats ainsi que la force et la régularité de la résistance au cisaillement. Ces propriétés des sols sont corrélées avec les variables descriptives des horizons du sol, présentes dans les bases de données pédologiques. Des règles de pédotransfert appliquées à ces variables permettent donc de traduire la battance et l'érodibilité des sols (e.g. Bouma, 1989). Ces règles de pédotransfert ont dû être adaptées aux types de variables disponibles dans les bases de données.

Les propriétés de sols utilisées dans le modèle MESALES INRA-IFEN pour le calcul de la battance (tableau 2.6) et de l'érodibilité (tableau 2.7) sont :

- la texture,
- le matériau parental,
- le type de sol<sup>7</sup>.

Dans notre cas, la carte des sols au 1/1 000 000ème dispose déjà des variables "érodibilité" et "battance" (Daroussin and King, 1996). Dans la modélisation de l'aléa érosif MESALES INRA-IFEN, les classes de texture prises en compte dans la base de données au millionième correspondent aux proportions relatives de fractions granulométriques des horizons supérieurs du sol (voir le tableau 2.8).

Toutefois, d'autres propriétés influencent indirectement l'érosion des sols, comme les flux hydriques et la distribution des forces érosives (e.g. Bryan, 2000). Afin de prendre en compte ces dernières, nous avons effectué une correction des indices de battance et d'érodibilité pour notre zone d'étude grâce à la prise en compte du taux de sable et du taux d'éléments grossiers.

Concernant la battance, selon la littérature (Rawles and Brakensiek, 1982; Schueler and Claytor, 2000b), les sols peuvent être classés selon leurs propriétés hydrologiques grâce à la combinaison de l'humidité à la capacité au champ ( $C_w$ ), du taux d'infiltration à saturation ( $f$ ) et du type de matériau parental. Pour identifier les sols favorisant l'infiltration, Schueler and Claytor (2000a) identifient le seuil de 50 % de sable comme référence. La base au 1/1 000 000 ème fournit la texture, selon la classification FAO (tableau 2.8), selon une composante principale et

---

7. Pour le taux de matière organique

TABLEAU 2.6: Création des classes de sensibilité à la battance (Le Bissonnais et al., 1998 in Colmar, 2006)

<b>Texture dominante</b>	<b>Text. Secondaire</b>	<b>Matériau</b>	<b>Type de sols</b>	<b>Battance</b>
Grossière				Faible
Moyenne				Moyenne
Moyenne fine				Moyenne
Moyenne		Limons-loess		Forte
Moyenne		Alluvions		Forte
Moyenne fine		Limons-loess		Forte
Moyenne fine		Alluvions		Forte
Moyenne fine	Fine			Moyenne
Moyenne	Fine			Moyenne
Moyenne	Grossière			Moyenne
Fine				Faible
Très fine				Faible
Texture non définie			Fluvisol	Nulle

TABLEAU 2.7: Règles d'évaluation de l'érodibilité du matériau parental en 3 classes (Le Bissonnais et al., 1998 in Colmar, 2006).

<b>Matériau</b>	<b>Érodibilité</b>
Alluvions	Forte
Sédiments fluviatiles anciens (Tertiaires)	Moyenne
Terrasses	Moyenne
Roches calcaires	Faible
Calcaire marneux	Forte
Craie	Moyenne
Craie secondaire	Moyenne
Marnes	Forte
Argiles	Moyenne
Matériaux argileux	Faible
Argiles primaires, secondaires et tertiaires	Faible
Roches argileuses	Faible
Sables	Moyenne
Sable alluvial ou glacio-fluvial, matériaux sableux et graveleux	Forte
Sable éolien, dépôts locaux	Forte
Roche sableuse	Faible
Limons	Forte
Limons pierreux	Moyenne
Formations détritiques, arkose	Faible
Flysch, molasse	Forte
Roches cristallines	Faible
Schiste	Forte
Ardoise	Forte
Roches volcaniques	Faible
Autres roches	Faible
Matière organique	Moyenne

TABLEAU 2.8: Tableau des classes de texture de la FAO selon les pourcentages d'argile et de sable (source : SGDBE).

Code	Définition	Argile	Sable
0	pas d'information		
9	pas de texture (histosols, etc)		
1	grossière	< 18 %	> 65 %
2	moyenne	< 18 % 18% <> 35 %	15 % < > 65% >15%
3	moyenne fine	< 35 %	< 15 %
4	fine	35 % <> 60 %	
5	très fine	> 60 %	

secondaire pour les horizons de surface<sup>8</sup> et de sub-surface<sup>9</sup>. Nous avons donc modifié la battance en attribuant le code 1 (très faible sensibilité à la battance) pour les UTS (Unité Typologique de Sol) qui ont un taux de sable  $\geq 65\%$  (tableau 2.8). Ceci nous amène à renommer la variable *battance/ruissellement* au lieu de *battance* (figure 2.5).

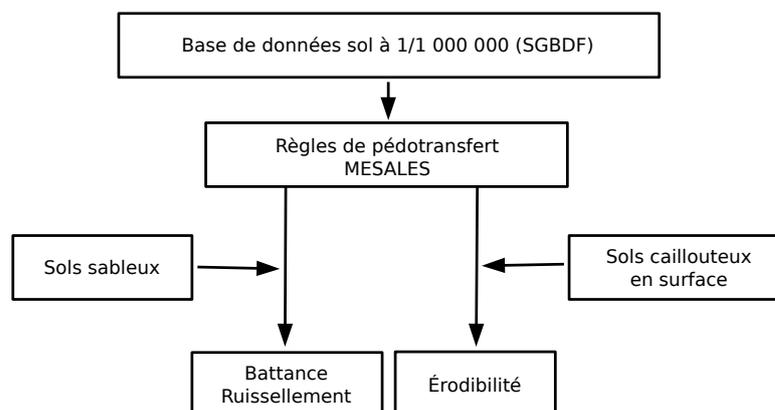


FIGURE 2.5: Les étapes pour construire l'érodibilité et la battance/ruissellement.

Concernant l'érodibilité, nous avons pris en compte le taux d'éléments grossiers en surface. En effet, ce dernier influence les concentrations en sédiments des eaux de ruissellement. Ainsi [Poesen et al. \(1999\)](#) ont démontré l'existence d'une corrélation négative entre la couverture d'éléments grossiers et la concentration des sédiments dans le flux ruisselé à la surface. Le taux d'éléments grossiers est pris en compte grâce à la cartographie de [Cerdan et al. \(2010\)](#) (figure 2.6). Cette cartographie se base sur la base de données SGDBE et représente la distribution des sols avec un taux d'éléments grossiers supérieur à 30 % (1 km de résolution). Nous avons ainsi soustrait une classe d'érodibilité aux UCS (Unité Cartographique de Sol) concernées (figure 2.5).

La base de données SGDBE et les modifications apportées (taux de sable et taux d'éléments grossiers) fournissent une valeur d'érodibilité et une valeur de battance/ruissellement par UTS (Unité Typologique de Sol en 6 classes). Cependant, une valeur par UCS (Unité Cartographique de Sol) est indispensable pour obtenir une carte au pixel des variables érodibilité et battance/ruissellement. Par conséquent, les valeurs d'érodibilité et de battance/ruissellement des UTS appartenant à la même UCS sont pondérées selon leur proportion de surface relative au sein de

8. Attributs TEXT1 et TEXT2

9. TD1 et TD2

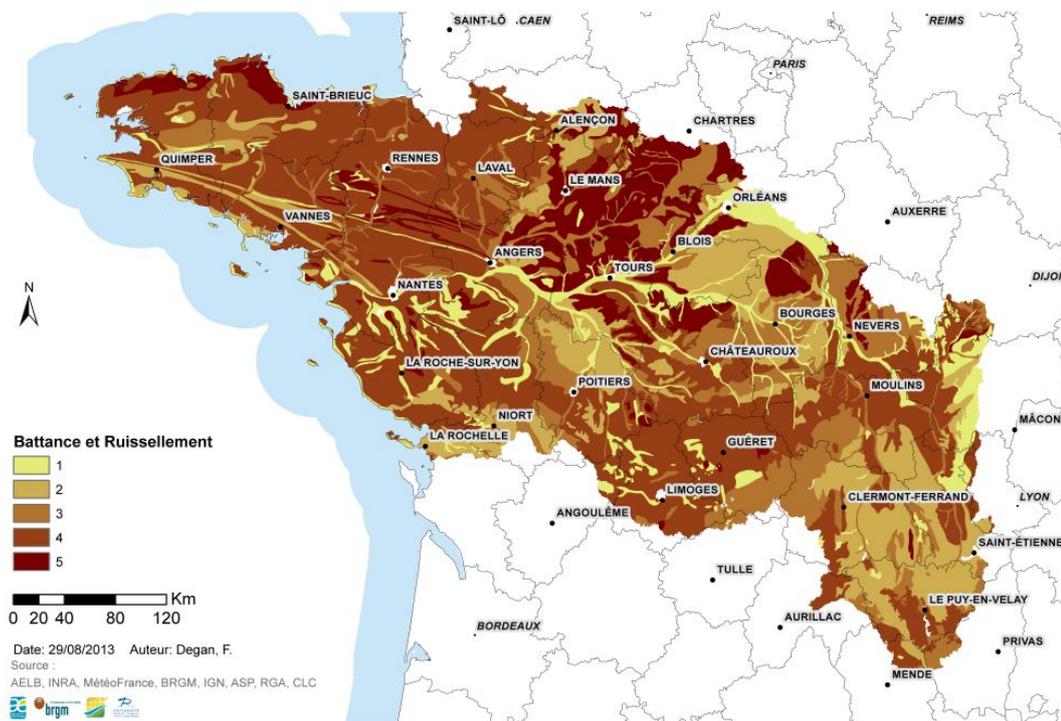


FIGURE 2.6: Distribution spatiale des sols avec un taux élevé d'éléments grossiers à la surface. Les sols dont le taux en cailloux est >30% sont affichés en marron foncé (source : European Commission, 2004; Cerdan et al., 2010)

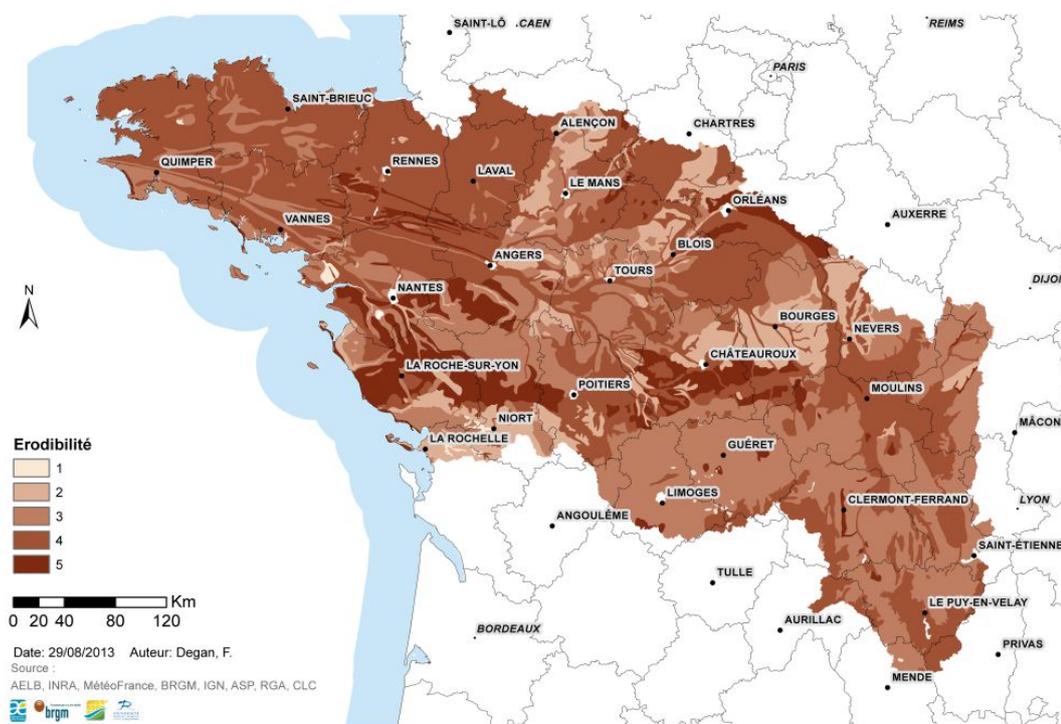
l'UCS. Les résultats sont cartographiés dans les figures 2.7a et 2.7b. Les proportions relatives des différentes classes sont indiquées dans la tableau 2.9.

TABLEAU 2.9: Pourcentages relatifs des classes de la battance/ruissellement (0 : nul ; 5 : élevé).

Code	Sensibilité	Batt/Ruiss	Erodibilité
0	pas d'information	0%	0%
1	très faible	10%	0%
2	faible	17%	10%
3	moyenne	18%	35%
4	fort	44%	45%
5	très fort	11%	8%



(A) Battance/Ruissellement



(B) Érodibilité

FIGURE 2.7: Facteurs pédologiques

**Pédologie**

- la base SGDBE (Soil Geographical Data Base of Europe, échelle de 1/1 000 000ème version 3.2.8.0, 10/09/1998) est utilisée pour les données pédologiques. En France à l'heure actuelle des bases de données pédologiques à 1/250 000 existent mais le programme de cartographie des sols n'est pas encore terminé (Donesol-IGCS).
- **"battance/ruissellement"** : le paramètre "battance" a été remplacé par la variable "battance/ruissellement" qui diminue la sensibilité à l'érosion sur les sols filtrants, définis pour un taux de sable supérieur ou égal à 65 %.
- **"érodibilité"** : diminution l'érodibilité pour les sols avec un taux d'éléments grossiers à la surface supérieur ou égal à 30 %

## 2.3 Topographie

Le MNT de l'IGN à 50 m est disponible sur tout le territoire national. L'information topographique sur le territoire Loire-Bretagne est donc homogène et des traitements supplémentaires ne sont pas requis. Nous avons également à disposition le MNT de l'IGN à 25 m, qui par contre n'est pas recommandé pour le calcul de l'aléa érosif (Cerdan et al., 2006a).

La sensibilité à l'érosion dépend du ruissellement des eaux superficielles, qui entraînent le détachement des particules de sol (e.g. Le Bissonnais et al., 2002a). La vitesse du ruissellement dépend du degré et de la longueur de la pente. La quantité de ruissellement, à un endroit donné, dépend de l'aire en amont en continuité hydrologique, qui contribue au drainage des eaux. Les modules d'analyse spatiale des logiciels SIG permettent d'obtenir la **pente** et l'**aire drainée** à partir du MNT. La combinaison de ces deux indices donne le facteur topographique.

**Pente** La carte de pente en pourcentage est calculée à partir du MNT. La classification en huit classes reprend celle du modèle expert de l'INRA (tableau 2.10). Les travaux de Desprats et al. (2006) dans l'Hérault ont comparé les cartes de pentes issues des MNT 50 m et 250 m de l'IGN. En conclusion, plus la résolution du MNT est faible, plus les pixels classés en pente faible sont nombreux, donc moins les pentes fortes sont prises en considération. Pour des utilisations à l'échelle nationale, où des forts contrastes topographiques existent, cette limite reste acceptable. Cependant, sur des territoire plus restreints et moins contrastés, l'utilisation du MNT à 50 m devient nécessaire.

TABLEAU 2.10: Tableau de combinaisons des classes de pentes et des classes de l'aire drainée.

Valeur de pente	Classes de pentes	Aire drainée		
		< 1 ha	De 1 à 20 ha	> à 20 ha
0 à 1 %	0	0	1	2
1 à 2 %	1	1	2	5
2 à 5 %	2	2	5	10
5 à 10 %	5	5	10	15
10 à 15 %	10	10	15	30
15 à 30 %	15	15	30	30
30 à 75 %	30	30	30	30
Plus de 75 %	75	75	75	75

**Aire drainée** L'aire drainée permet de prendre en compte l'importance de la surface drainée en amont dans la concentration des flux d'eaux. Plusieurs méthodes de prise en compte de la concentration des flux sur un versant ont été testées par Desprats et al. (2006). L'information sur l'aire drainée est donc utilisée pour majorer la carte des classes de pente selon le tableau 2.10 (Desprats et al., 2006). La prise en compte de l'aire drainée constitue une amélioration du modèle initial (figure 1.2).

La figure 2.9 présente la spatialisation du facteur pente et le tableau 2.11 les pourcentages de chaque classe par rapport à la surface totale modélisée du bassin versant. La combinaison de l'aire drainée avec la pente permet de différencier les endroits avec les mêmes valeurs de pente, mais qui concentrent un volume plus ou moins important d'eau provenant de l'amont.

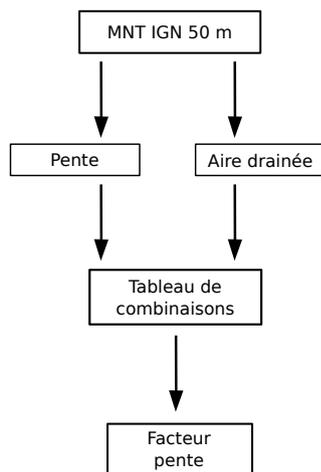


FIGURE 2.8: Construction du facteur pente.

TABLEAU 2.11: Portion de la surface totale représentée par chaque classe de facteur pente.

Code	Surface (%)
0	9
1	18
2	31
5	22
10	10
15	7
30	2
75	0

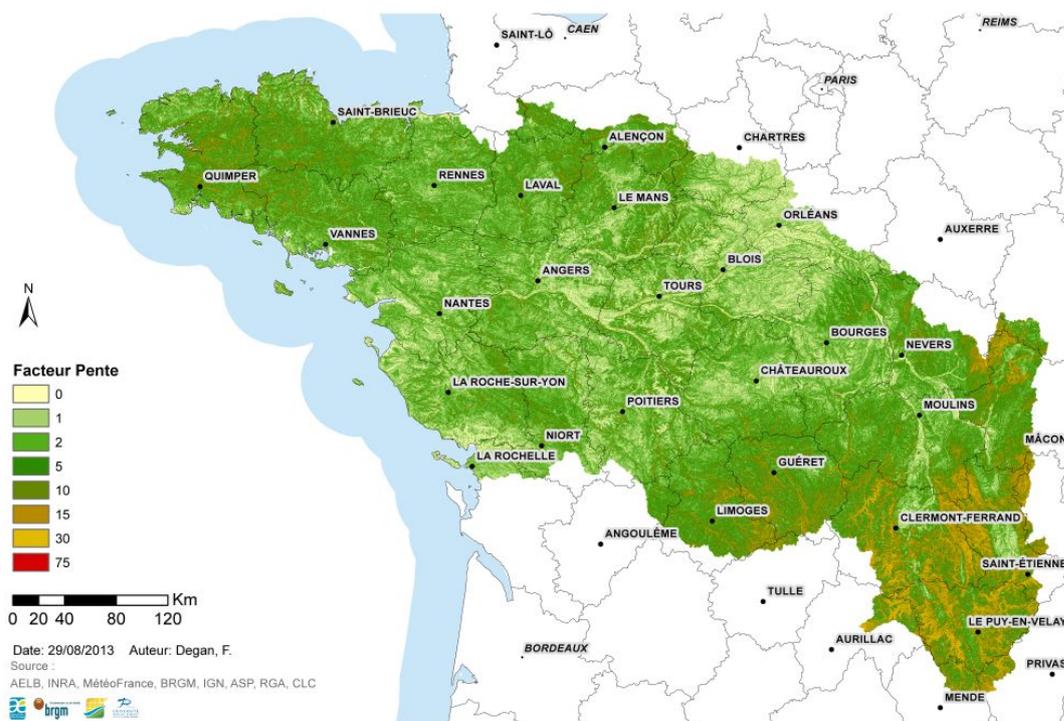


FIGURE 2.9: Cartographie du facteur pente.

**Topographie**

- Utilisation du MNT de l'IGN à 50 m
- Prise en compte de l'aire drainée en plus de la pente et pour obtenir le facteur topographique.

## 2.4 Climat

La combinaison entre l'aléa climatique et la sensibilité des sols à l'érosion donne les niveaux d'aléa érosif. L'aléa climatique est quantifié grâce au facteur climatique, calculé à partir de la base de données SAFRAN.

### 2.4.1 Données disponibles

Le modèle MESALES-INRA-IFEN emploie les données de la base AURHELY. Cette base utilise une méthode statistique d'interpolation des observations du réseau des mesures de Météo-France sur 30 années, avec la prise en compte du relief et l'utilisation du paysage environnant chaque point de mesure (rayon de 50 km). Les inconvénients de cette méthode consistent principalement en l'indisponibilité d'un nombre suffisant de stations de mesure avec 30 années de données. Les résultats de la base AURHELY sont disponibles sur les années 1971-2010 en tant que moyennes climatiques mensuelles, ce qui représente une fréquence relativement faible.

La base de données SAFRAN (Système d'Analyse Fournissant des Renseignements Atmosphériques à la Neige) est le résultat de l'application du système d'analyse initialement conçu pour la prévision des avalanches. L'analyse SAFRAN utilise des modèles atmosphériques pour interpoler les paramètres météorologiques sur une maille de 8 km (figure 2.10).

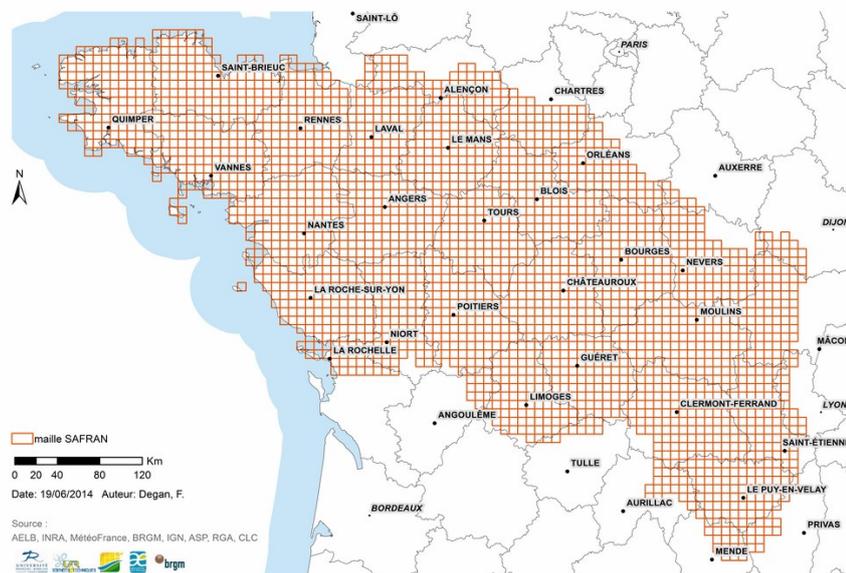


FIGURE 2.10: Maillage SAFRAN.

Le pas de temps minimum est horaire et le modèle est bien adapté aux zones de relief. Les entrées de l'analyse SAFRAN sont les observations en temps réel et différé, l'analyse avec le modèle ARPEGE et le MNT (Durand et al., 1993, 1999 in Quintana-Seguí et al., 2008). 8 champs de paramètres météorologiques sont ainsi estimés, y compris les précipitations. Sur le bassin Loire-Bretagne, nous disposons de l'extraction des mm de pluie par jour de 1998 à 2010.

### 2.4.2 Calcul d'un indice d'érosivité

L'intensité de pluie est un des paramètres influençant les processus érosifs. Pour des érodibilités et des battances moyennes, une pluie de forte intensité mais de courte durée arrivant sur un sol sec provoque une faible érosion. Par contre si le sol est déjà humide et que les pluies sont abondantes, des phénomènes d'érosion assez importants peuvent se produire. Les propriétés de la pluie à prendre en compte dans le cas de l'érosion concernent donc d'une part la quantité de pluie tombée et d'autre part la durée de l'événement pluvieux.

L'influence du climat sur l'érosion est ici rapportée à deux variables : le cumul et l'intensité des précipitations (e.g. Davison et al., 2005). Le facteur climatique est calculé grâce à deux paramètres. Un paramètre représente la quantité des pluies (cumul saisonnier) et le second l'agressivité des événements pluvieux (nombre total de jours par saison avec une quantité de pluie journalière supérieure à 15 mm/j). Le facteur climatique combine par conséquent, pour chaque maille, l'information sur le cumul total de pluie par saison et le nombre total de jours avec un cumul de pluie supérieure à 15 mm/jour sur les 13 années de données disponibles (voir la figure 2.11 pour la construction du facteur climatique, le tableau 2.12 pour les déterminations des classes). Les valeurs seuils correspondent aux 5<sup>e</sup>, 25<sup>e</sup>, 50<sup>e</sup> et au 75<sup>e</sup> percentiles des distributions de chacune des deux variables.

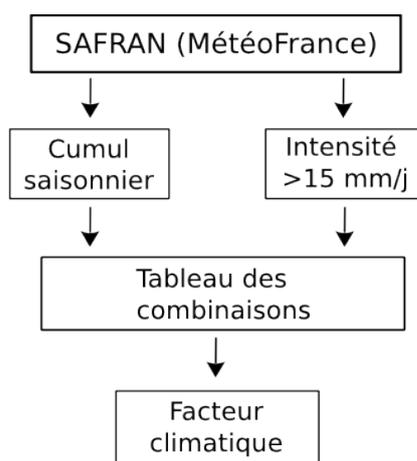


FIGURE 2.11: Les étapes pour construire le facteur climatique.

TABLEAU 2.12: Tableau valeurs du facteur climatique combinant le cumul total de pluie par saison et le nombre total des jours de pluie avec un cumul > 15 mm. Les valeurs seuil correspondent aux 5<sup>e</sup>, 25<sup>e</sup>, 50<sup>e</sup> et au 75<sup>e</sup> percentiles des distributions de chacune des deux variables.

Cumul <sup>a</sup>	Nombre de jours <sup>b</sup>				
	< 13	13 - 22	22 - 30	30 - 41	41 - 66
< 1 857	1	2	3	4	5
1 857 - 2 264	2	3	3	4	5
2 264 - 2 642	3	3	4	4	5
2 642 - 3 090	4	4	4	5	5
3 090 >	5	5	5	5	5

a. Cumul total de pluie par saison en mm sur 13 ans

b. Nombre total de jours de pluie avec un cumul >15 mm sur 13 ans

La figure 2.12 montre la distribution des valeurs du facteur climatique par maille. L'axe des abscisses donne le nombre de jours de pluie avec un cumul supérieur à 15 mm par saison et par an, l'axe des ordonnées montre le cumul total de pluie par saison et par an. Les traits en pointillés rouges affichent les seuils pour la classification des variables dans le tableau de combinaison (tableau 2.12). Ce premier graphique regroupe les valeurs de toutes les saisons. La figure 2.13 montre la distribution des deux variables selon la saison.

Le tableau 2.13 présente les pourcentages de chaque classe du facteur climatique par saison. De manière générale, les variations entre les quatre saisons sont assez importantes. Cela implique que la distribution des mailles dans les 5 classes est la plus homogène pour l'hiver. L'automne est la saison avec le plus grand nombre de mailles classées en 5 (aléa très fort). Les cartes des figures 2.14 et 2.15 montrent la spatialisations du facteur climatique. La distribution spatiale des mailles montre que le nord-ouest (Bretagne) et le sud-est (Massif Central et Limousin) sont les zones où se concentrent les mailles classées en aléa climatique le plus élevé.

TABLEAU 2.13: Pourcentage des classes du facteur climatique par saison sur toute la zone d'étude.

Facteur climatique	Hiver	Print	Été	Autom	Écart moyen
<i>très faible</i> 1	15%	0%	6%	0%	5%
<i>faible</i> 2	27%	33%	41%	8%	10%
<i>moyen</i> 3	19%	28%	24%	25%	3%
<i>fort</i> 4	25%	24%	21%	25%	1%
<i>très fort</i> 5	15%	15%	8%	42%	11%
<b>Écart moyen</b>	5%	10%	10%	13%	4%

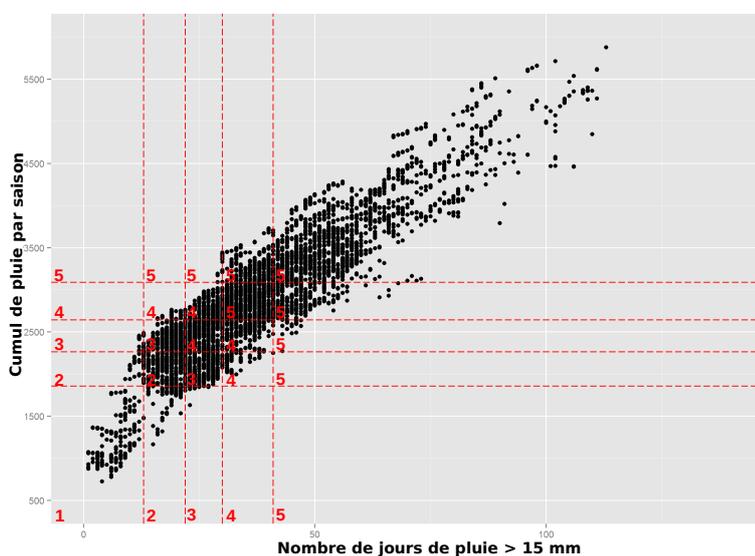


FIGURE 2.12: Nombre de jours de pluie et cumul total par saison, pour toutes les saisons (en traits pointillés rouge, les 5<sup>e</sup>, 25<sup>e</sup>, 50<sup>e</sup> et au 75<sup>e</sup> percentiles des distributions de chacune des deux variables.).

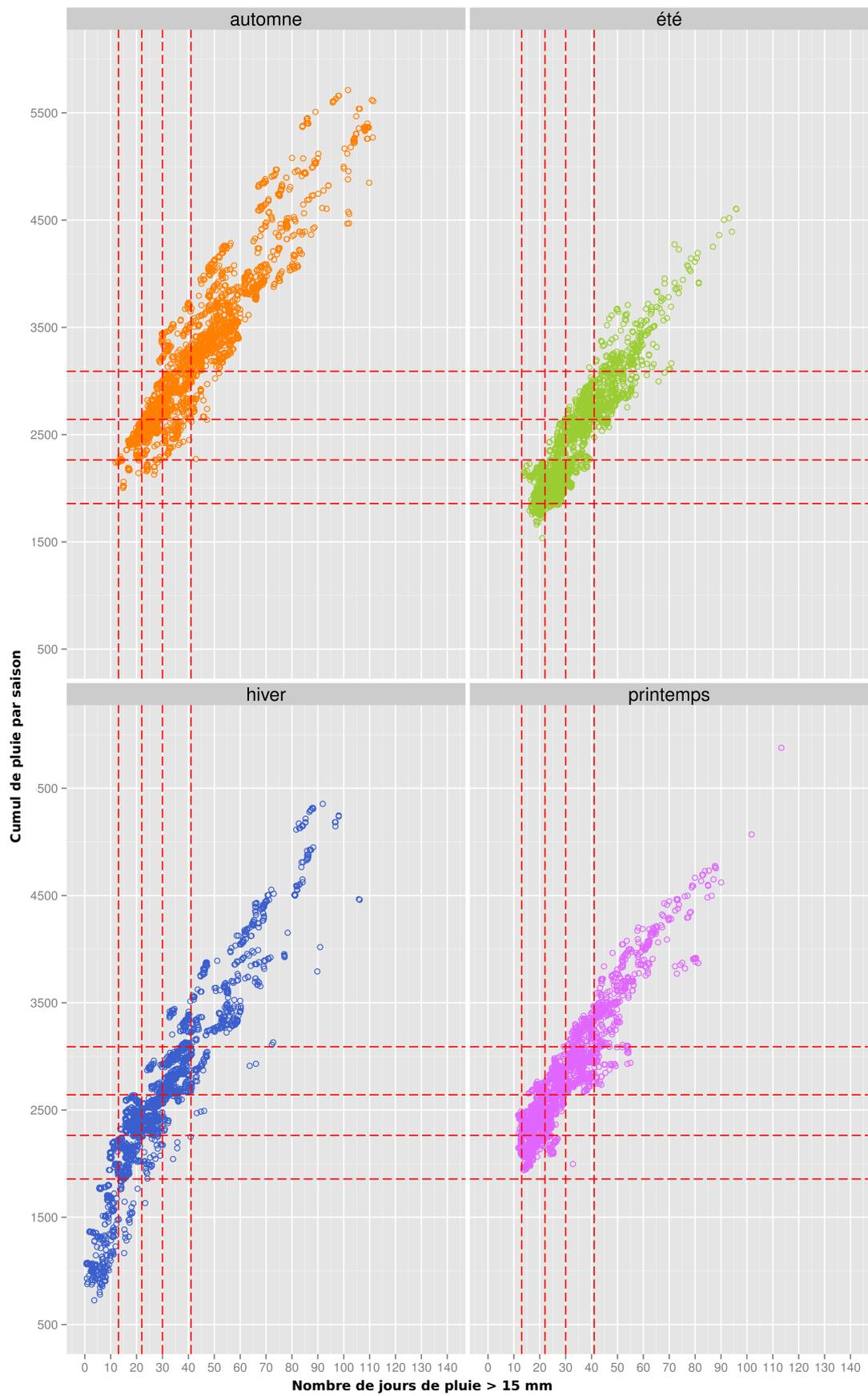
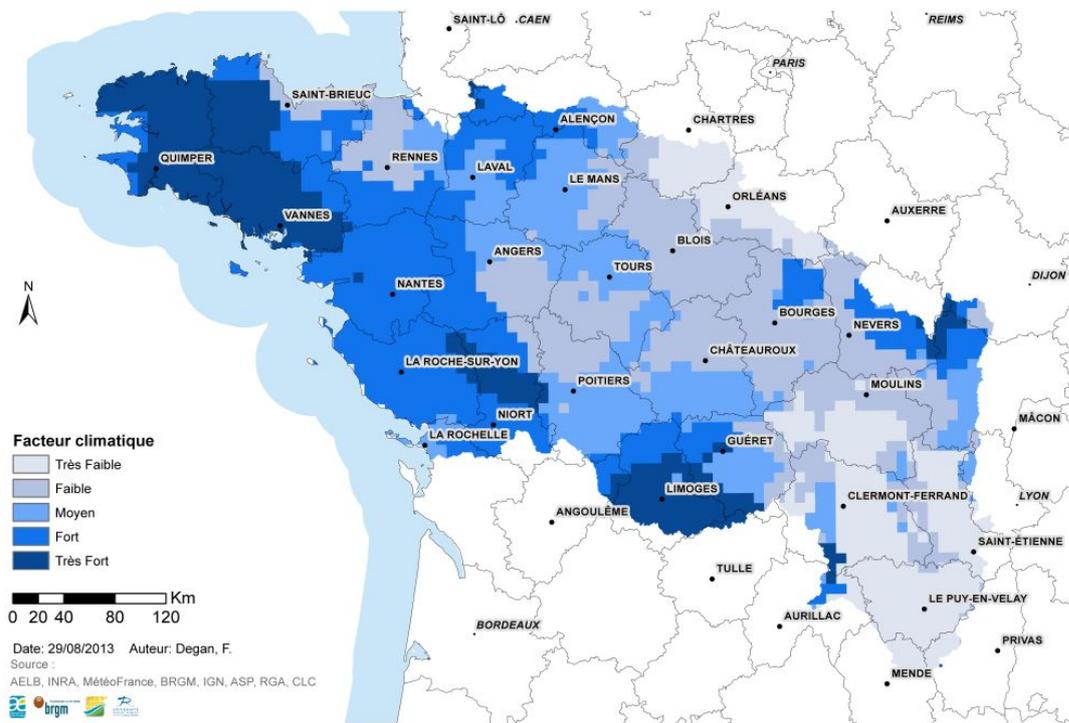
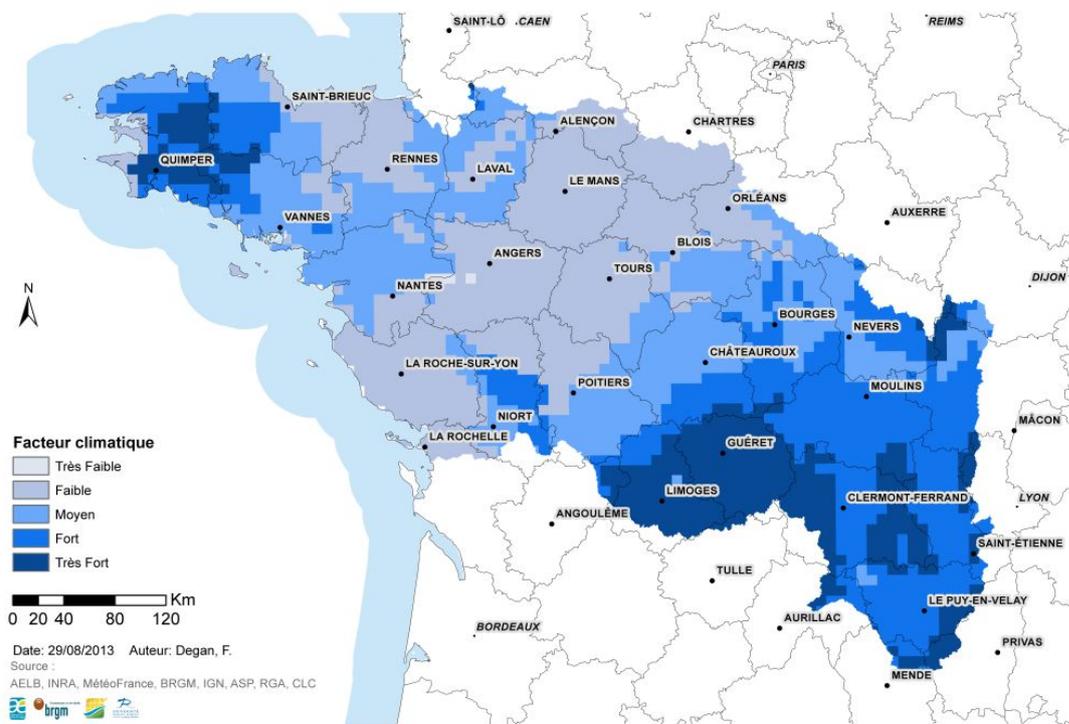


FIGURE 2.13: Nombre de jours de pluie et cumul total par saison (en rouge, les limites des classes).

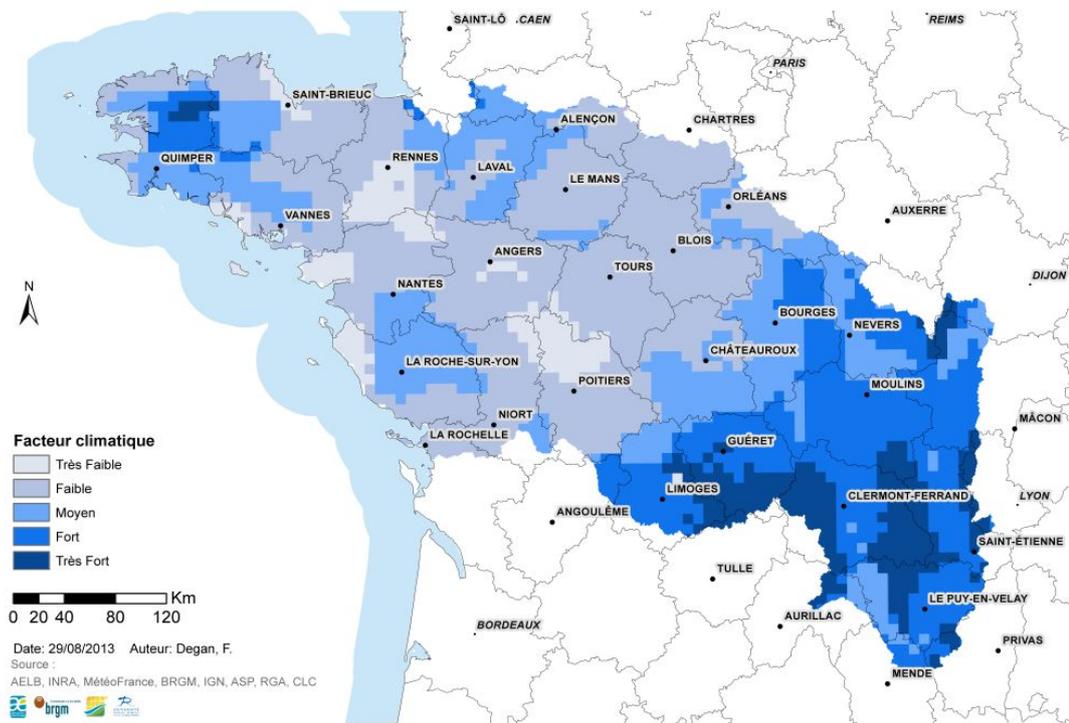


(A) hiver

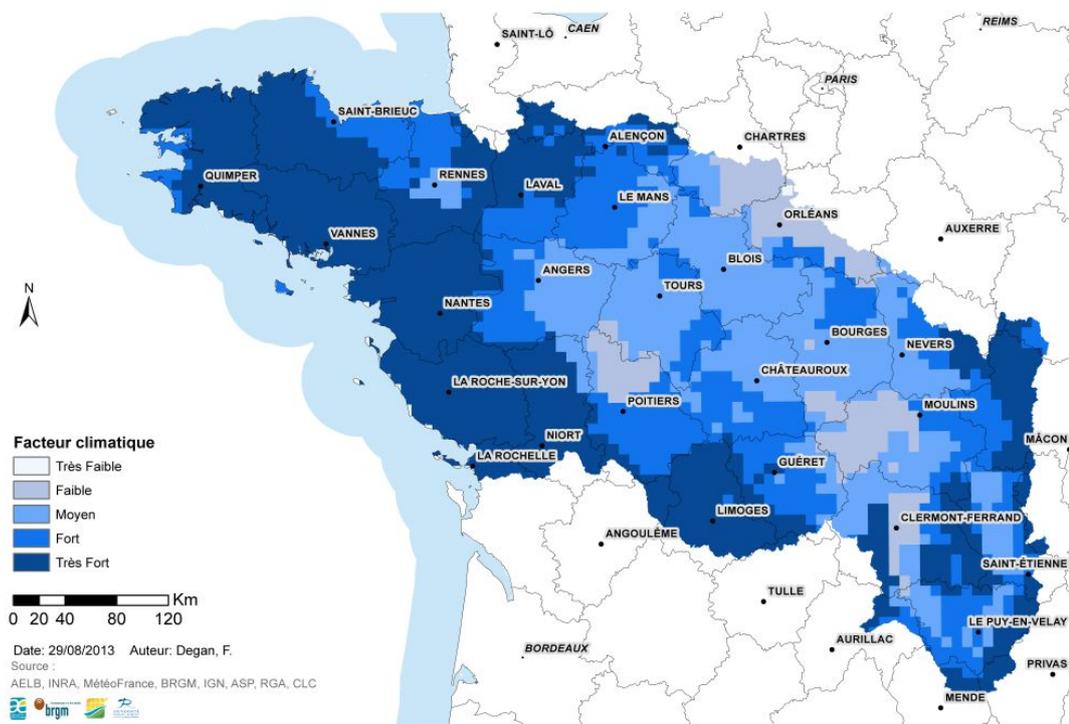


(B) printemps

FIGURE 2.14: Facteur climatique(1)



(A) été



(B) automne

FIGURE 2.15: Facteur climatique (2)

**Climat**

- La base de données SAFRAN (MétéoFrance - e.g. [Quintana-Seguí et al., 2008](#)) nous permet d'avoir accès au cumul journalier de pluie en mm, du 01/01/1998 au 31/12/2010, sur une maille de 8 km.
- Facteur climatique : prise en compte de deux indices selon un tableau de combinaison (tableau [2.12](#)).
- Intensité des pluies : nombre de jours par saison avec un cumul journalier  $> 15$  mm sur 13 ans.
- Quantité de pluie : cumul saisonnier de pluie sur 13 ans.

## 2.5 Arbre de décision

Dans le modèle MESALES-INRA les facteurs sont combinés grâce à une hiérarchie de conditions, qui détermine les classes d'aléa. L'ensemble des conditions est organisé sous forme d'un arbre de décision, où à chaque combinaison des facteurs érosifs est affecté un des cinq niveaux d'aléa (figure 2.16). La valeur d'aléa pour chaque combinaison possible a été attribuée par expertise (Le Bissonnais et al., 2002a). Dans la nouvelle version du modèle, les modifications des classes du taux de couverture du sol nous contraignent à modifier l'arbre de décision. Les éléments nouveaux ajoutés à l'arbre de décision sont les trois premières branches, appelées "Terre Agricole". Les trois premières classes<sup>10</sup> de l'indicateur de l'occupation du sol, appelées "taux de couverture du sol", sont en effet une nouveauté par rapport aux applications précédentes du modèle MESALES (tableau 2.14). De plus, la classe "culture permanente" a été supprimée, car les cultures permanentes ont été intégrées à la classification par taux de couverture du sol (voir les figures 2.17 et 2.18).

TABLEAU 2.14: Classification du taux de couverture du sol dans le modèle MESALES-2014.

Code	Libellé
1	Sol nu 3/3 ans
2	Sol nu 2/3 ans
3	Sol nu 1/3 ans
5	Sol semi-couvert et couvert 3/3 ans
6	Espace naturel dégradé
7	Prairie et pâturage
8	Forêt

10. Les trois classes sont : "sol toujours nu", "sol nu un an sur trois", "sol nu deux ans sur trois".

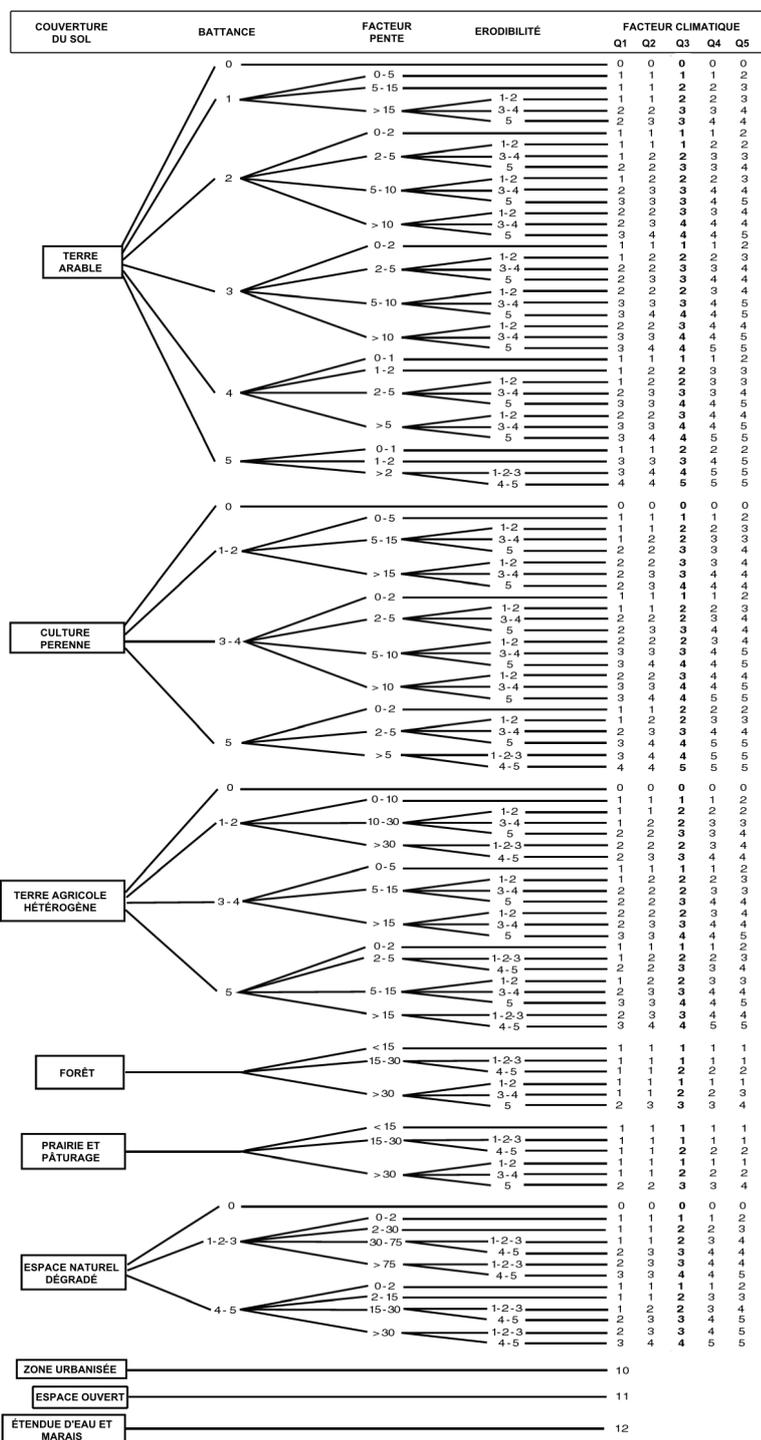


FIGURE 2.16: Arbre de décision du modèle MESALES (source : Le Bissonnais et al., 2002b modifié).

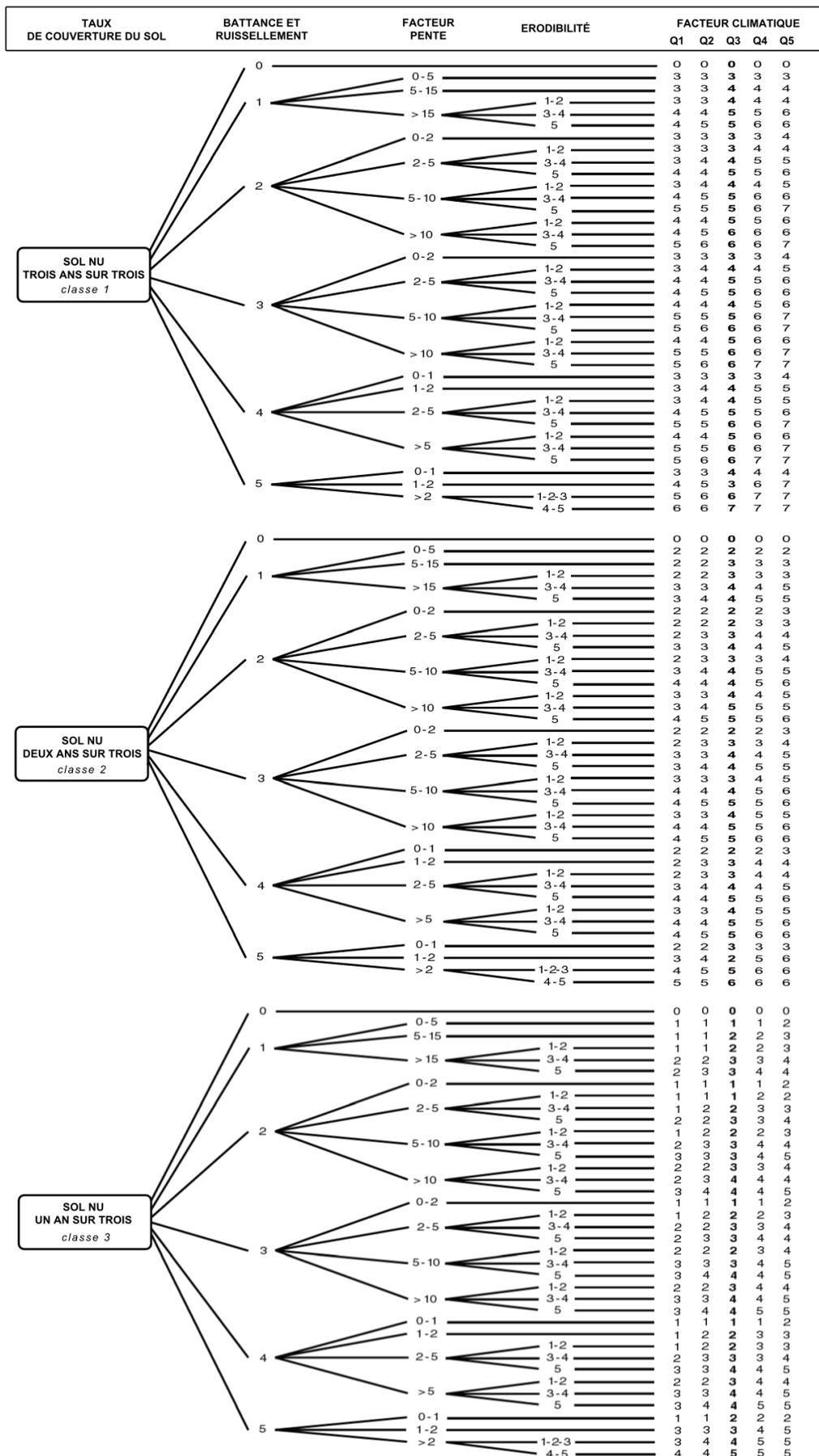


FIGURE 2.17: Arbre de décision du modèle MESALES modifié (partie 1 - source : Le Bissonnais et al., 2002b modifié).

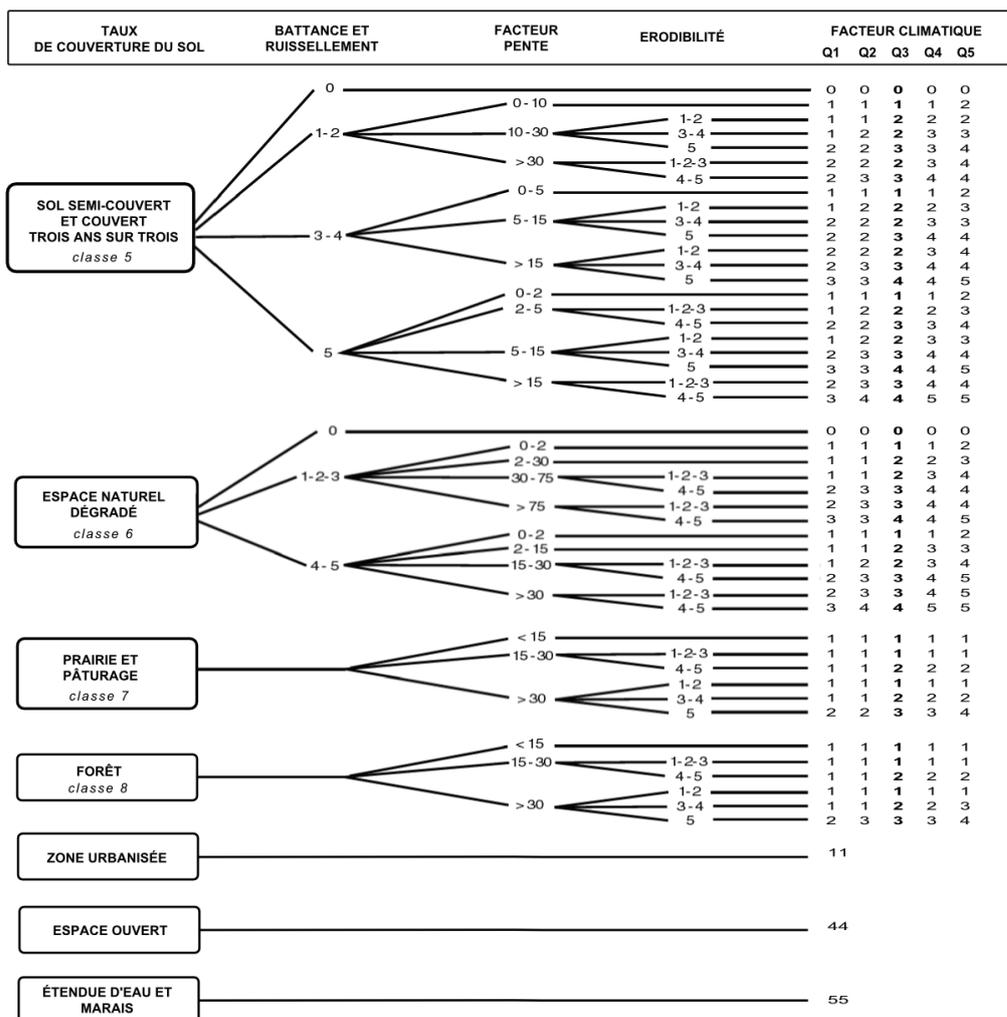


FIGURE 2.18: Arbre de décision du modèle MESALES modifié (partie 2 - source : Le Bissonnais et al., 2002b modifié).

**Arbre de décision**

- Modification de l'arbre de décision liée à des changements importants concernant le facteur occupation du sol. Les anciennes classes "terre arable" et "culture permanente" ont été transformées en trois classes de couverture du sol : "sol nu trois ans sur trois", "sol nu un an sur trois", "sol nu deux ans sur trois".



## Chapitre 3

# Évaluation

La phase d'évaluation par expertise locale est une des innovations majeures de la nouvelle cartographie de l'aléa érosif en Loire-Bretagne. L'apport de cette dernière phase pour l'étude concerne trois points :

- 1 l'évaluation de la pertinence du modèle à l'échelle de l'ensemble du territoire ;
- 2 l'identification de spécificités locales, liées à des conditions particulières qui ne peuvent pas être prises en compte ;
- 3 la compréhension du processus de modélisation et l'appropriation des résultats cartographiques par les acteurs locaux.

### 3.1 Préparation des réunions d'expertise

La phase d'évaluation s'est appuyée sur deux types de documents :

- une cartographie de l'aléa érosif élaborée spécifiquement pour la phase d'évaluation. En effet, les cartes présentées dans la partie suivante (carte intégrée par bassin de masse d'eau et carte avec un pixel de résolution de 1 km), ne permettent pas une validation aisée par les experts locaux ;
- deux questionnaires, selon les profils des experts locaux.

Les paragraphes suivants ("[3.1.1 - Atlas pour l'évaluation](#)" et "[3.1.2 - Questionnaires et conduite des entretiens](#)") développent l'élaboration des deux types de documents. Deux réunions préliminaires<sup>1</sup> ont permis de tester les questionnaires et d'identifier les modalités de représentation des cartes.

#### 3.1.1 Atlas pour l'évaluation

La cartographie transmise aux acteurs locaux consiste en un atlas. Plusieurs aspects sont abordés pour construire l'atlas (Palka, 2010) :

- **l'intégration annuelle.**

Le choix a été fait de ne présenter que la synthèse annuelle de l'aléa. En effet, les réunions tests ont montré que l'évaluation de cinq cartes (une carte par saison et la synthèse annuelle) se révèle trop longue et trop complexe. Par ailleurs, le même choix a été fait lors de travaux antérieurs en Bretagne (Colmar, 2010). La carte présentée (figure 3.1)

---

1. Bassin du Loir amont - S.M.A.R. 28 - le 27 novembre 2012 et le CRBV (Contrat Régional des Bassins Versants) "Goulaine, Divatte, Haie d'Allot" le 6 décembre 2012

correspond donc à la valeur de la médiane de l'aléa des quatre saisons.

— **l'échelle de diffusion et la résolution spatiale des résultats.**

L'échelle de publication de la carte est le 1/250 000, car elle constitue un compromis pour satisfaire les différentes échelles d'expertise des personnes interrogées. À partir de l'échelle de publication, nous avons choisi la résolution spatiale.

La sortie du modèle a une résolution de 50 m. Toutefois, selon les règles cartographiques mentionnées par Hengl (2009), pour une carte avec l'échelle du 1/250 000, la résolution spatiale correspond à une surface minimale de 1,6 ha, que nous avons approximée à environ 2 ha. Cette résolution est obtenue par agrégation progressive des pixels de la carte brute sortie du modèle, en conservant la valeur maximale d'aléa observé dans le groupe des pixels agrégés<sup>2</sup>. Cela permet d'avoir des formes qui se rapprochent davantage de plages cartographiques, les formes rondes augmentent en effet la facilité de lecture de la carte (Palka, 2010).

— **le nombre de classes d'aléa et les couleurs des classes.**

Trois classes d'aléa ont été choisies. En effet, un nombre supérieur de classes d'aléa ne peut être validé que par un nombre très restreint d'experts locaux. La carte en trois classes est par ailleurs plus facilement lisible par des personnes qui n'utilisent pas habituellement les outils cartographiques. Le choix des couleurs se base sur les conseils de Palka (2010), qui suggère une distinction bien précise des trois classes, il s'agit de trois couleurs nuancées : vert, jaune et rouge.

— **le format et le support de diffusion des résultats.**

La carte a été publiée sous forme d'un atlas de 111 pages. Ce format est facile à manipuler et permet de repérer aisément les zones à valider. Une plaquette d'information sur le modèle accompagnait par ailleurs la diffusion de l'atlas cartographique (Annexe B).

### 3.1.2 Questionnaires et conduite des entretiens

De manière générale, la rédaction des questionnaires se fonde sur les travaux de Colmar (2010). Les caractéristiques spécifiques du bassin Loire-Bretagne et la variété des acteurs locaux interrogés ont nécessité une consultation de l'AELB pour valider les questionnaires (juin 2012). Deux types de questionnaires ont donc été présentés aux acteurs locaux, un pour les experts de l'érosion et l'autre pour les acteurs qui ont des connaissances plus globales sur le territoire, mais qui n'ont pas de compétences spécifiques sur les processus érosifs. En effet, les experts de l'érosion peuvent apporter des informations souvent très précises, tandis que les autres acteurs locaux sont susceptibles d'apporter des informations complémentaires sur les facteurs érosifs et du point de vue des impacts sur le milieu.

Les deux types de questionnaires suivent la même méthodologie, qui se décline en cinq points successifs :

- 1 Zone d'expertise et compétences.** Les participants se présentent en terme de zone d'expertise et de niveau de connaissance de la zone.

---

2. ArcGIS 10, module *Spatial Analyst*, fonction *Aggregate*, option d'agrégation *MAXIMUM*.

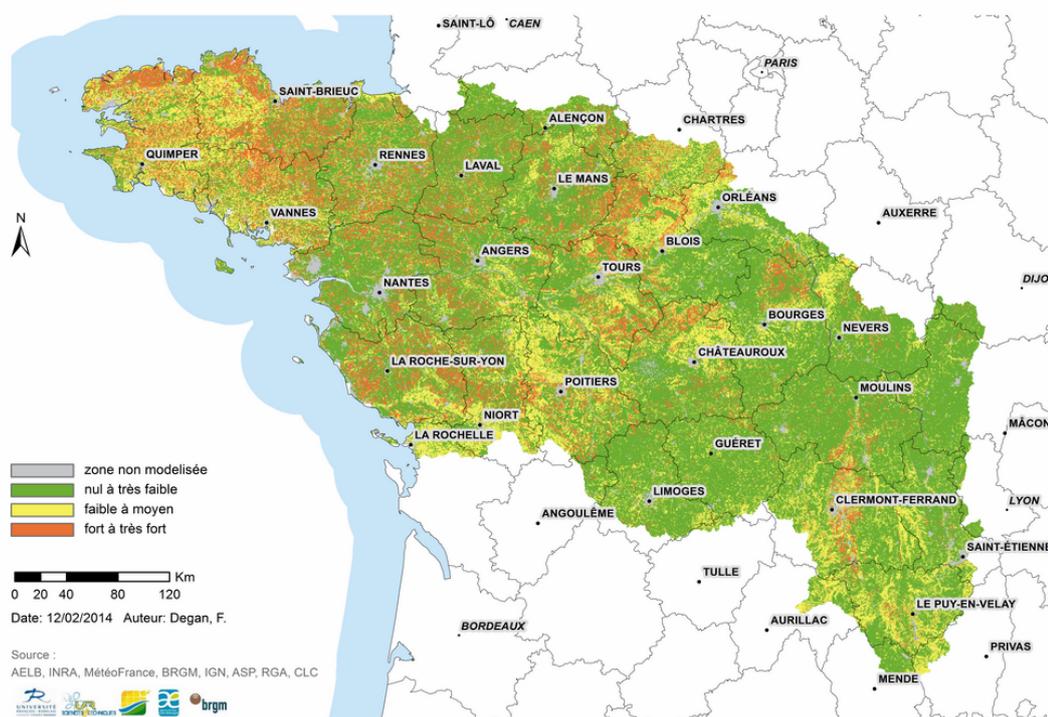


FIGURE 3.1: Cartographie de l'aléa érosif pour la validation.

- 2 Identification des phénomènes érosifs observés.** Ce second point vise à définir précisément la nature des phénomènes érosifs observés par les experts et à les identifier sur les zones d'expertise de chacun de participants.
- 3 Caractérisation et hiérarchisation des facteurs érosifs.** Les experts sont ensuite invités à hiérarchiser les facteurs érosifs qu'ils observent sur le terrain. De plus, un échange plus approfondi a concerné les types d'occupation du sol et plus spécifiquement les pratiques culturelles.
- 4 Conséquences de l'érosion.** Les experts précisent les impacts environnementaux et agronomiques de l'érosion des sols.
- 5 Évaluation de la cartographie.** L'atlas cartographique est enfin présenté pour évaluation.

La conduite des entretiens a systématiquement suivi une méthodologie bien précise. Une présentation de la problématique et des objectifs a d'abord été réalisée. Les sujets ont ensuite été abordés dans le même ordre que celui du questionnaire. L'atlas de l'aléa érosif, ainsi que la carte d'intégration de l'aléa par bassin versant de masse d'eau n'ont donc été présentés et évalués qu'en fin de réunion.

## 3.2 Synthèse des réunions

2000 courriel ont été envoyés à l'ensemble des structures susceptibles d'être intéressées par la thématique. À partir des réponses obtenues, des réunions regroupant un nombre variable de participants et de structures ont été organisées. Les réunions se sont déroulées entre les

mois d'avril et de juillet 2013. Au moins une réunion de validation s'est déroulée par région administrative, pour un total de 28 réunions. Le territoire validé pendant les réunions pouvait s'étendre d'un petit bassin versant à une région entière.

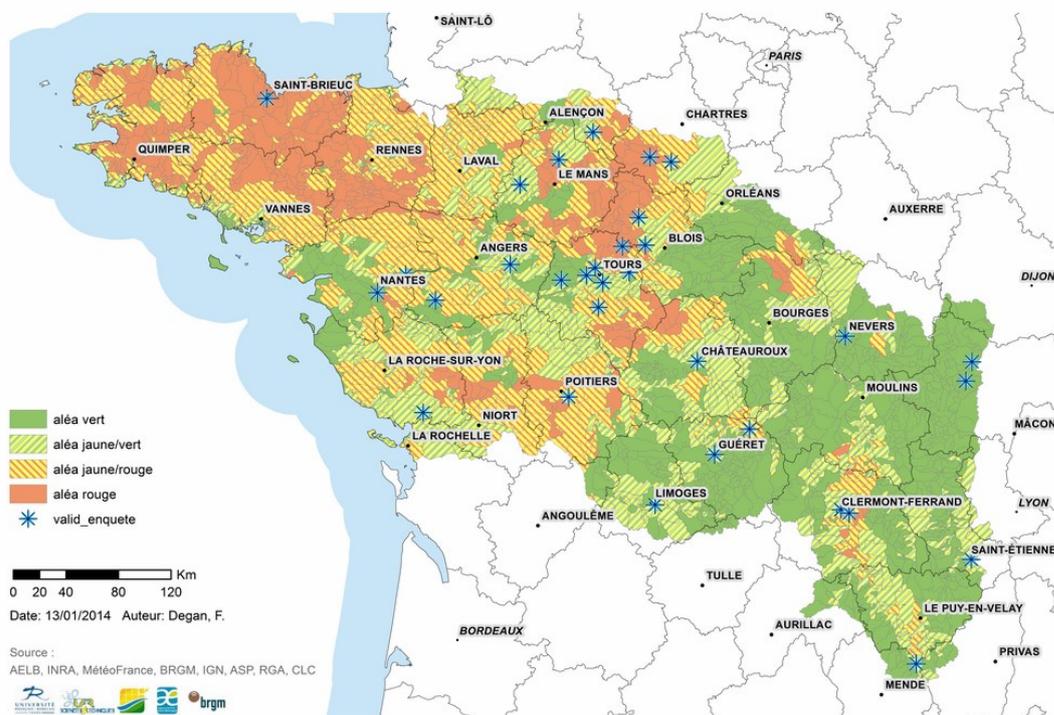


FIGURE 3.2: Zones de provenance des questionnaires reçu par courriel et lieux des réunions.

Les acteurs ayant participé aux réunions représentent plusieurs types de structures (figure 3.2 et tableau 3.1) :

- Délégation de l'AELB,
- Chambre d'Agriculture,
- ONEMA,
- DDT,
- SAGE et contrat territorial,
- Parc Naturel Régional,
- Conseil Général,
- Agglomération,
- Communauté de communes,
- Syndicat d'Aménagement,
- Éducation nationale et enseignement supérieur,
- Laboratoire de recherche,
- Fédération de Pêche,
- Bureau d'étude,
- Association.

Chaque réunion a fait l'objet d'un compte-rendu. Le synthèse des réunions est présentée en quatre parties :

- identification des phénomènes érosifs observés ;
- caractérisation et hiérarchisation des facteurs érosifs ;
- conséquences de l'érosion ;
- remarques d'ordre général sur la méthodologie d'analyse spatiale et de validation.

La synthèse des réponses ci-après présente successivement pour chaque partie la situation générale dans le bassin Loire-Bretagne, illustrée ensuite par des exemples locaux.

Date	Lieu	Territoire	Acteurs	Organisme	Type
27/11/2012	Mairie de Bonneval	Eure-et-Loir (bv Loir)	7	Président SMAR 28, Animateur SMAR 28, DDT, FDPPMA, ONEMA, Conseil Général, CA	réunion
06/12/2012	CC Champtoceaux	BV Divatte	3	Techniciens de rivières, Animateur	réunion
08/04/2013	courriel	SAGE Loire	1	SAGE Loire en Rhône Alpes	questionnaire
06/05/2013	Mairie de Sainte-Maure-de-Touraine	Sud Indre-et-Loire	6	Techniciens de rivières	réunion
16/05/2013	CA 71 (Le Creusot)	Saône-et-Loire	4	CA, SAGE, technicien de rivières	réunion
23/05/2013	courriel	Saône-et-Loire	1	ONEMA	questionnaire
23/05/2013	téléphone	bv Martinats (23)	1	Technicien de rivières	questionnaire
24/05/2013	S.I.E.R.A.V.L (Vendôme)	Loir médian et affluents	6	ONEMA, AELB, Techniciens de rivière, CA, Animatrice Contrat territorial, BRGM	réunion
29/05/2013	CA 37 (Chambray-les-Tours)	Indre-et-Loire	3	CA	réunion
31/05/2013	EI-bassin de l'Authion (Beaufort en Vallée)	SAGE du bassin versant de l'Authion	5	SAGE, technicien rivières, CG cellule ASTER	réunion
04/06/2013	Château-Renault (37)	Brenne, Bresme, Roumer	10 env.	Technicien de rivières, élus	terrain
04/06/2013	courriel	Amasse	1	Techniciens de rivières	questionnaire
05/06/2013	CORELA (Nantes)	bassins versants gérés par le CORELA	1	Directrice CORELA	réunion
07/06/2013	Mairie de Bonneval	BV de l'Ozanne (28)	1	CA - conseiller Environnement-Qualité de l'eau	réunion et terrain
11/06/2013	CG 23 (Guéret)	Creuse	8	CA, CC, Com. d'Agglomération, Syndicat de rivières, DDT, CG	réunion

Date	Lieu	Territoire	Acteurs	Organisme	Type
13/06/2013	Feytiat	Haute Vienne	9	CA, Syndicat d'aménagement, EPTB, DREAL, ONEMA, bureau d'étude	réunion
17/06/2013	Mairie de la Membrolle sur Choisille	Nord Indre-et-Loire	3	Techniciens de rivières, ONEMA	réunion
18/06/2013	SMiB (Andrezé)	SAGE de l'Evre - Thau - St Denis et SAGE Layon - Aubance	13	Syndicat d'aménagement, SAGE, animateurs, techniciens de rivières, stagiaires, ONEMA, Associations (AFAHC), CA	réunion
24/06/2013	Chaillé-les-Marais	Marais Potevin	9	SAGE, animatrice, technicien de rivière, fédération des syndicats du marais, élus	réunion
25/06/2013	Serigny (61)	SAGE Sarthe amont, SAGE Sarthe aval, SAGE Huisne	17	SAGE, animateurs, techniciens de rivières, AELB	questionnaires et réunion
26/06/2013	Herbault (41)	BV de la Cisse	3	Techniciens de rivières, Animateur	réunion
26/06/2013	Luynes et Les Essards (37)	BV Bresme-Roumer	1	Technicien de rivières	réunion
27/06/2013	CG 58, Nevers	Nièvre	7	CA, CG, CC, DDT, Parc Naturel Régional, Techniciens de rivière	réunion
27/06/2013	courriel	Auvergne	1	chercheur	questionnaire
01/07/2013	Délégation d'Armor et Finistère de l'ALEB, Ploufragan	Côtes d'Armor - Bretagne	13	DDTM <sup>3</sup> , Association, Fédération de Pêche, CA, SAGE, INRA, AELB, CC, Syndicat d'aménagement, techniciens de rivières, animateurs	réunion
02/07/2013	CRA de Poitou-Charentes (Mignaloux-Beauvoir)	Poitou-Charente	4	CA	réunion
03/07/2013	CA 36 (Châteauroux)	Indre	8	CA, DDT, DATEER <sup>4</sup>	réunion

3. Direction Départementale des Territoires et de la Mer

4. Direction de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et de l'Economie Rurale

<b>Date</b>	<b>Lieu</b>	<b>Territoire</b>	<b>Acteurs</b>	<b>Organisme</b>	<b>Type</b>
05/07/2013	VetAgro sup (Lempdes)	Auvergne	17	CA, bureau d'étude, laboratoire de recherche, BRGM, enseignement public, SAGE, Contrat territorial, animateurs, techniciens de rivières,	réunion
08/07/2013	FPPMA-Lozère (Mende)	Lozère	7	Fédération de Pêche, DDT, CA, Contrat territorial, animateur	réunion

TABLEAU 3.1: Liste des réunions et des acteurs de la validation par expertise.

### 3.2.1 Identification des phénomènes érosifs observés

Cette première partie a pour objectif de réaliser une synthèse des phénomènes érosifs observés et leur degré d'intensité. Elle permet de préciser aux acteurs les processus que le modèle prend ou ne prend pas en compte et de mieux interpréter leur évaluation cartographique.

#### 3.2.1.1 Dépôts en bas de parcelle, rigoles et ravines

En ce qui concerne les manifestations de l'érosion, d'une manière générale, les phénomènes érosifs les plus couramment observés par les experts sur les versants cultivés sont les ravines, les rigoles, les dépôts de terre à l'aval des parcelles et les atterrissements sur route. Parmi ceux-ci, les rigoles et les dépôts en bas de parcelles sont les phénomènes les plus fréquents.

#### 3.2.1.2 Coulées boueuses

D'après les compte-rendus, les coulées boueuses sont peu observées sur le territoire de l'AELB. Les conditions locales dues au substrat ou à l'aléa climatique sont mentionnées par les acteurs locaux comme responsables de ces phénomènes. Divers exemples sont mentionnés.

Dans les départements du Massif Central, les coulées boueuses sont observées sur des substrats granitiques avec des couverts végétaux faibles. En Auvergne, les coulées boueuses ont une occurrence faible en montagne depuis le retrait agricole, alors qu'elles étaient souvent observées sur les coteaux.

Deux exemples ont été mentionnés en zone de plaine. Concernant à l'aléa climatique, un épisode de pluie intense entre Bourgueil et Restigné en Indre-et-Loire a entraîné des coulées boueuses (100 mm en 1h30, 2009). Au printemps 2013, sur la voie rapide entre Saint-Brieuc et Rennes, des coulées boueuses avec coupure de route ont également été observées.

#### 3.2.1.3 Autres phénomènes d'érosion

Parmi les autres types de phénomènes érosifs observés, les acteurs locaux ont souvent mentionné l'érosion éolienne et l'érosion des berges. Des dépôts issus de l'érosion éolienne sont présents parfois dans la vallée de l'Authion et dans la plaine de la Limagne. L'érosion des berges (piétinement au niveau des abreuvoirs) se retrouve dans les zones à élevage (dans les Mauges en Maine-et-Loire, en Limousin, en Bourgogne), ainsi qu'en Bretagne, dans les zones à forte pente.

L'identification des phénomènes érosifs par les acteurs locaux montre des visions très différentes concernant leur nature et leur intensité. Cette partie nous a permis d'identifier la nature des phénomènes érosifs observés localement. Parmi ceux-ci, les rigoles et les dépôts en bas de parcelles sont bien les phénomènes les plus fréquents. Toutefois, les coulées boueuses, l'érosion éolienne et l'érosion des berges sont dans certaines zones des processus fréquents, mais qui ne sont pas pris en compte par le modèle.

### 3.2.2 Caractérisation et hiérarchisation des facteurs érosifs

Cette partie vise à compiler l'ensemble des facteurs identifiés par les experts comme étant à l'origine des phénomènes d'érosion observés. Cela permet en particulier :

- de préciser certaines composantes des facteurs pris en compte par le modèle ;
- d'identifier d'autres facteurs complémentaires qui ne sont pas actuellement pris en compte par le modèle.

### 3.2.2.1 Occupation du sol

Dans le modèle employé, l'occupation du sol (taux de couverture du sol) est la variable qui influence le plus l'aléa.

Les composantes de ce facteur qui peuvent être prises en compte pour son évaluation sont variées. Pour mieux synthétiser les commentaires et les exemples locaux, cinq aspects de la couverture du sol sont ainsi analysés :

- A - Cultures les plus sensibles à l'érosion ;
- B - Nomenclature de l'occupation du sol ;
- C - Aléa agronomique ;
- D - Rotations ;
- E - Modes de gestion du sol.

**A. Cultures les plus sensibles à l'érosion** Selon les acteurs locaux, les vignes et les vergers qui ne sont pas enherbés et le maïs sont les cultures plus sensibles à l'érosion. De manière générale, en Loire-Bretagne, la monoculture de maïs laisse le sol nu à partir de mi-novembre, mais les résidus culturaux restent sur la surface du sol, ce qui permet de protéger le sol même si la culture n'est plus en place. La période où le sol cultivé en maïs est le plus sensible à l'érosion est le printemps, quand les jeunes plantes n'assurent pas une couverture du sol suffisante pour faire face aux orages.

D'autres types de cultures sont mentionnés comme très sensibles à l'érosion mais de manière plus localisée. Par exemple, en Maine-et-Loire, la culture identifiée comme la plus sensible à l'érosion est le semis de colza en automne. Dans le bas Berry, au sud du département de l'Indre, outre les cultures de type maïs, les prairies retournées sont les plus sensibles à l'érosion. Les acteurs y observent en effet des ravines et une perte de 5/10 cm de sol entraîné vers les routes en bas des parcelles. En Auvergne, les cultures sensibles aux orages de mai/juin sont le tournesol et le maïs. Toutefois, le facteur sol est souvent mentionné comme plus important dans les zones de plateaux. En Bretagne, les cultures légumières sont identifiées comme le type d'occupation du sol le plus sensible à l'érosion, suivies par les céréales sans cultures intercalaires. Les cultures légumières de bassins côtiers en particulier sont très sensibles à l'érosion, du fait des pratiques agricoles adoptées. Plusieurs facteurs aggravants se cumulent en effet dans ce système cultural :

- même avec la culture en place, le sol des parcelles est en grande partie nu ;
- il y a peu de restitution de matière organique ;
- les sols sont labourés plusieurs fois par an et souvent dans de mauvaises conditions ;
- la récolte se fait sans prendre en compte l'état de la surface des sols ;
- lorsque les parcelles sont gorgées d'eau, l'évacuation est faite par des ravines qui suivent le travail du sol effectué dans le sens de la pente.

Sur tous les territoires validés, la spécificité des pratiques de gestion des cultures semblent déterminante pour le déclenchement des phénomènes érosifs.

**B. Nomenclature de l'occupation du sol** La classification de l'occupation du sol est dérivée de la base RPG (Registre Parcellaire Graphique), du RGA (Recensement général agricole) et de la base CLC (Corine Land Cover). La nomenclature a été ensuite réadaptée selon la classification COUVERT pour représenter le taux de couverture du sol par saison sur trois ans (Chapitre 2 et

Annexe A). Les retours des enquêtes de terrain ont mis en évidence certaines imprécisions liées directement au type de nomenclature de l'occupation du sol :

- 1 Cultures intercalaires<sup>5</sup>,
- 2 Semences,
- 3 Pâturages et prairies,
- 4 Forêt,
- 5 Espaces naturels dégradés,
- 6 Zones urbanisées.

**1. Cultures Intercalaires** En Bretagne, l'absence de prise en compte de cette classe induit des erreurs perçues par les acteurs locaux comme importantes. En effet, depuis une dizaine d'années, le couvert obligatoire en automne rend les sols cultivés beaucoup moins sensibles à l'érosion. Selon les experts locaux, le rôle des intercalaires en Bretagne est donc fondamental dans la prise en compte de la sensibilité des cultures à l'érosion. Ce point a été pris en compte à la suite de cette évaluation. Les pratiques concernant les intercalaires sont très variables. Actuellement il n'existe pas une base de données spatialisée sur la diversité des pratiques concernant les intercalaires. Il a donc été décidé d'affecter un taux de couverture intermédiaire en période d'interculture.

**2. Semences** La base de données RPG ne distingue pas les différents types de semences, or, elles peuvent être affectées d'un taux de couverture très variable selon la nature de la culture. L'information a été obtenue indirectement en y ajoutant les données issues du RGA. Néanmoins, cette méthodologie ne semble pas adaptée dans le cas où un type de semences est majoritaire sur une zone donnée. Ainsi le SAGE de l'Authion (Maine-et-Loire et Indre-et-Loire) est très concerné par cette problématique. En effet, au total la zone cultivée en maïs semence s'étend sur une large surface (environ 5 000 à 6 000 ha). À dire d'expert, les pratiques agricoles spécifiques à ces cultures, ainsi que les aménagements des versants, influencent significativement l'érosion. Toutefois, il n'existe pas actuellement de bases de données spatialisées permettant de distinguer les différents types de semences à l'échelle parcellaire.

**3. Pâturages et prairies** Selon certains experts, la différenciation entre prairie temporaire et prairie permanente est un critère important pour prendre en compte la probabilité de la mise en culture sur une échelle temporelle de dix ans. Le retournement des prairies temporaires rentre en effet dans des rotations avec des céréales de printemps ou d'hiver. La distinction entre prairie temporaire et permanente n'est pas faite d'un point de vue sémantique dans le modèle. Néanmoins, le modèle prend partiellement en compte cette différence, puisqu'il considère l'occupation du sol sur trois années. Ainsi une prairie qui apparaît en succession avec d'autres cultures est considérée comme une prairie temporaire. Le problème pourra totalement être résolu lorsque 6 années de données RPG seront disponibles.

Par ailleurs, le problème de la spécificité des pâtures a été également mentionné. Le surpâturage peut en effet fragiliser les prairies et les rendre plus sensibles à l'aléa climatique en hiver. Toutefois nous ne disposons pas de données relatives aux surfaces toujours en herbe pâturées.

---

5. En agriculture, les cultures intercalaires sont aussi appelées "engrais vert". Elles couvrent les sols pendant la période d'interculture, c'est à dire entre la récolte d'une culture et le semis de la suivante. Leur rôle est d'assurer un couvert végétal permettant notamment de réduire les pertes en sol liées à l'érosion, ainsi que les pertes d'éléments nutritifs dues au phénomène de lessivage. Elles augmentent le taux d'humus et améliorent la structure du sol. En agro-foresterie, les cultures intercalaires sont cultivées entre des rangées (ou autres dispositifs de plantation) d'arbres ou d'arbustes.

**4. Forêt** La classe "forêt" est considérée jusqu'à présent comme étant peu sensible à l'érosion dans le modèle MESALES. Toutefois, l'enquête a révélé que les pratiques sylvicoles doivent être prises en compte. En effet, même si les cycles des coupes se font sur plusieurs décennies<sup>6</sup>, la sylviculture peut être très impactante sur des bassins versants qui ont toute ou partie de leur surface en forêt exploitée.

Dans les zones de plaine, une différence importante de sensibilité à l'érosion entre les espaces boisés et les cultures est logiquement observée. Toutefois, l'exploitation des forêts peut déclencher localement des ravines et du ruissellement (bassin du Couasnon au Nord du bassin de l'Authion).

Dans les zones de montagne, les acteurs interrogés indiquent que l'exploitation des versants forestiers en pente (le Lignon de Forez, Sud de la Creuse, Lozère) rend les sols plus sensibles aux aléas climatiques. Le colmatage des rivières dans ce secteur peut être facilement mis en lien avec les phénomènes érosifs observés sur les parcelles forestières exploitées. Hormis les propriétés de chaque type de sol, la sensibilité à l'érosion dépend des espèces des arbres et de la technique d'exploitation. Par exemple, selon les acteurs, une coupe de résineux est plus sensible à l'érosion qu'une coupe mixte. En effet, le réseau des racines des résineux est plus superficiel, donc il stabilise moins les sols. De plus, les résineux exploités ont moins de sous-bois pouvant couvrir le sol après une coupe à blanc, le sol peut ainsi être considéré comme nu pour une durée de deux ans. Selon l'avis des acteurs, une coupe à blanc peut être comparée à une prairie retournée en ce qui concerne le niveau de sensibilité à l'érosion. Au centre d'un couvert forestier homogène, il peut y avoir des coupes à blanc générant localement des phénomènes érosifs enregistrés jusqu'à l'exutoire du bassin versant forestier. Les sols sont par ailleurs tassés le long des chemins d'accès aux parcelles exploitées, ce qui entraîne localement une augmentation de la sensibilité à l'érosion (Lozère, plateau de Millevaches).

Certaines bases de données permettent d'avoir une information sur le type d'essence forestière (IFN et IGN pour la carte des essences forestières). Néanmoins il serait nécessaire de disposer d'une base de données géographique spatialisée indiquant les dates de coupe à blanc pour chaque parcelle forestière sur l'ensemble de la zone d'étude. À ce stade, nous avons choisi de ne pas modifier la classe forêt, il s'agit néanmoins d'une piste importante à explorer dans les prochains travaux de modélisation, selon la disponibilité future des données.

**5. Espaces naturels dégradés** Les experts qui ont porté l'attention sur cette classe travaillent dans les départements de la Nièvre, de la Lozère et de l'Auvergne. Ils ne retrouvent pas leur connaissance actuelle du territoire et ils considèrent que cette classe surestime l'érosion. L'hypothèse est que cette classe, issue des données Corine Land Cover et faisant référence à des données satellitaires<sup>7</sup>, a pu subir des modifications depuis la collecte de données. Il est difficile aux experts de comprendre à quelle occupation du sol fait référence cette classe sur leur territoire. Une des interprétations fait référence à la reprise de la végétation en zone forestière après une coupe à blanc. Plusieurs pistes ont été évoquées lors des réunions pour l'amélioration de la classe "espace naturel dégradé". L'une d'entre-elles consiste en la prise en compte des coupes à blanc et des périodes d'exploitation forestière. Une autre piste, suggérée lors de la réunion dans le département de la Nièvre, consiste à vérifier si les zones classées comme "espace naturel dégradé" correspondent à des zones humides. Une étude plus approfondie serait nécessaire pour répondre à cette question spécifique, qui nécessite par ailleurs des données qui ne sont pas encore disponibles.

6. Le déboisement intervient environ tous les 10-15 ans pour le bassin du Couasnon – SAGE Authion ; une fois tous les 60 ans environ, avec deux ans de sol nu après exploitation et 2 coupes en phase de production en Lozère.

7. Les données provenant de Corine Land Cover sont des données issues des images satellitaires (télédétection), retravaillées ensuite pour affiner la classification.

**6. Zone urbanisée** L'urbanisation augmente le ruissellement superficiel et la vitesse des écoulements (observations dans l'agglomération de Cholet – Nantes, en Auvergne, Indre-et-Loire, Loir-et-Cher). Les rivières réagissent beaucoup plus vite aux événements pluvieux (ce qui s'ajoute à la disparition des zones humides, du bocage, et au drainage des terres agricoles). Selon l'avis des acteurs interviewés, les impacts négatifs sur le milieu aquatique liés au colmatage et à l'envasement doivent être mis en relation avec l'augmentation de l'imperméabilisation des terres. Ces considérations sont pertinentes, toutefois le modèle d'aléa ne prend pas en compte les zones urbaines, dont la dynamique d'écoulement est très complexe.

**C. Aléas agronomique, climatique et économique** Les acteurs avec une expérience décennale dans leur territoire remarquent que les aléas agronomique, climatique et économique peuvent fortement influencer le type de succession culturale.

Par exemple, dans le bassin versant de l'Ozanne (Eure-et-Loir) le petit pois était inclus dans la rotation avec les céréales. Suite à une épidémie phytosanitaire qui n'a pas été maîtrisée, les agriculteurs le cultivaient de moins en moins. Par contre, en 2012, une prime pour les protéagineux a été établie, et les surfaces cultivées en pois ont augmenté à nouveau. Autre exemple, en Poitou-Charentes, les années 2008-2009-2010 ont eu une surface cultivée en pois plus importante que au cours des deux années suivantes. Ces changements sont toujours très liés aux aléas socio-économiques (marché, aides PAC, etc.). Les données RPG utilisées dans ce travail (2008-2009-2010) peuvent en effet ne pas refléter les changements antérieurs ou futurs. Dans le cas des changements antérieurs, la disponibilité d'un nombre d'années plus important permettra de palier le problème. Pour les changements futurs, il serait nécessaire de réaliser des scénarios de changements socio-économiques (par exemple les évolutions de la PAC), néanmoins ce n'est pas l'objet de ce travail.

**D. Taux de couverture du sol** Le taux de couverture du sol est défini pour chaque saison à partir du type de culture de la base de données RPG pour les trois années disponibles. Il s'agit donc d'une affectation d'un taux de couverture pour une année civile. Les experts ont pointé les limites de ce raisonnement, qui ne permet pas pour une parcelle donnée de prendre en compte les rotations culturales. Par ailleurs, il leur est très difficile d'évaluer la pertinence des cartes du taux de couverture du sol sans informations sur les rotations. L'objectif serait de raisonner non plus sur une année civile, mais sur trois années culturales. Des tests sur un nombre limité de rotations culturales types ont toutefois montré que les différences en terme de taux de couverture intégrée sur trois années ne semble pas significatives. Il sera nécessaire néanmoins d'intégrer les rotations culturales dans les prochaines modélisations avec davantage d'années d'occupation du sol. Une autre approche consisterait à utiliser l'outil RPG-explorer<sup>8</sup> récemment développé mais jamais appliqué à une telle échelle spatiale.

Une autre limite concernant le taux de couverture du sol est relative aux cultures d'hiver et de printemps. Cette distinction est basée sur la combinaison d'informations relatives au RPG et au RGA. Cette méthodologie est limitante lors qu'il existe une ségrégation nette de ces deux types de cultures dans une zone donnée. Par exemple, les céréales d'hiver dominant dans la partie Ouest de l'Eure et-Loir, alors que les cultures de printemps sont présentes dans la partie Est. Cela est liée à une différence de pluviométrie, qui détermine la présence de cultures irriguées ou pluviales. Ceci est toutefois un exemple spécifique à une région donnée, qu'il ne semble pas

---

8. <http://www.rdtrisque.org/projets2/Martin/bib/>

possible de généraliser à l'ensemble de la Loire-Bretagne. Une étude plus approfondie sur les rotations culturales pourrait permettre de résoudre ce problème.

**E. Modes de gestion du sol** La prise en compte des techniques de gestion du sol (travail du sol, résidus culturaux, etc.) exerce une influence déterminante sur le taux de couverture du sol. Les échanges avec les acteurs locaux montrent que les TCS (Techniques Culturelles Simplifiées) et de semis-direct commencent à se diffuser dans tous les territoires. Leur localisation reste toutefois très mitée spatialement. Localement des exemples et des pratiques spécifiques peuvent être identifiés, au delà des changements généralisés. En Auvergne, il semble important prendre en compte les zones où des pratiques culturales spécifiques, pour faire face à l'érosion des sols, sont actuellement appliquées dans les endroits les plus sensibles. Ainsi par exemple, les résidus de maïs restent sur les sols après la récolte jusqu'au moment du labour, en février/mars. Les discussions sont toutefois souvent brouillées dans la comparaison de différentes techniques pour les mêmes cultures. Compte-tenu de la très grande diversité des pratiques et de leur hétérogénéité spatiale, cet aspect n'est pas directement pris en compte par le modèle. Il est toutefois intégré dans le taux de couverture du sol par type de culture. Si la synthèse des enquêtes montre que l'identification des dynamiques locales et de leur localisation spatiale peut améliorer l'estimation de la sensibilité des sols à l'érosion, la base de données correspondante n'existe pas. Néanmoins, une étude approfondie permettant l'intégration de nouvelles bases de données (par exemple ROSACE-INOSYS<sup>9</sup>) pourra être menée afin de mieux prendre en compte le mode de gestion du sol.

### 3.2.2.2 Pédologie

La base de données SGDBE au 1/1 000 000ème, la seule base homogène disponible à l'échelle de la Loire-Bretagne, a été utilisée pour prendre en compte la sensibilité du sol à l'érosion. Cette base ne permet pas de prendre en compte les particularités locales. Néanmoins les échanges avec les pédologues pendant la phase de validation nous ont permis d'affiner les propriétés des sols responsables localement de la sensibilité à l'érosion.

**Propriétés des sols** Les paramètres pris en compte pour le calcul de l'érodibilité et de la battance sont : la texture, le matériau parental, le nom du sol et la charge de surface en éléments grossiers. De manière générale, il est reconnu par les acteurs que la texture du sol est une des variables principales déterminant la sensibilité des sols à l'érosion. Pour citer quelques exemples, la texture des sols du département de la Creuse est assez homogène. Cela est lié au substrat géologique qui donne naissance à des sols limono-sableux, qui ne sont pas très stables. En particulier, lorsque les prairies sont mises en culture ou que les bois sont exploités, la sensibilité du sol à l'érosion augmente. En Indre-et-Loire, les plateaux calcaires recouverts par des limons sont les secteurs les plus sensibles à l'érosion.

Au delà de la texture, d'autres propriétés des sols ont été évoquées pour l'estimation de la sensibilité à l'érosion. Il s'agit notamment de la matière organique, des carbonates, des oxydes de fer et des propriétés hydriques des sols. Par exemple, en Bretagne, le paramètre influençant le plus la différenciation spatiale de l'érosion est la matière organique, plus que la texture, qui reste assez peu variable au sein des sols bretons. Le carbonate de calcium est un facteur stabilisant vis-à-vis de la sensibilité à la battance, de la cohésion des particules du sol et du ruissellement

9. Réseau d'Observation des Systèmes Agricoles pour le Conseil et les Etudes - <http://www.centre.chambagri.fr/developpement-agricole/rosaceinosys.html>

(Indre, Indre-et-Loire, Auvergne). En Champagne Berrichonne (Indre), la RU (Réserve Utile) maximale et la capacité d'infiltration sont des propriétés de sols prise en compte pour quantifier le taux du ruissellement des sols. Certaines de ces propriétés ont déjà été prises en compte dans des applications plus locales de MESALES à partir des bases de données sols au 1/50 000 et au 1/250 000. La disponibilité de la base de données au 1/250 000 (RRP) à l'ensemble du territoire d'étude permettra de les prendre en compte.

Un cas particulier été évoqué, concernant l'impact anthropique sur les propriétés de sols. Dans les zones légumières du SAGE de l'Authion et de l'estuaire de Nantes, de la terre sableuse est apportée. Il y a donc une modification de la texture de surface des sols par un apport extérieur. Cette situation peut augmenter considérablement la sensibilité des sols à l'érosion et par conséquent le colmatage des cours d'eau, mais elle n'est pas prise en compte.

**Résolution spatiale** L'échelle cartographique est déterminante pour la disponibilité des propriétés de sols pouvant être prise en compte, mais également pour la résolution spatiale de l'érodibilité et de la battance. L'emploi de la base de données RRP au 1/250 000 permettra d'augmenter cette résolution.

### 3.2.2.3 Topographie

La topographie est prise en compte avec la combinaison de deux indices topographiques : la pente et de l'aire drainée, à partir du MNT 50 m (IGN). Leurs pertinence a été discutée. Les acteurs ont par ailleurs précisé les situations où le facteur topographique est le plus important pour déterminer la sensibilité des sols à l'érosion.

**Pertinence des indices topographiques** De manière générale le facteur topographique est bien pris en compte dans le modèle. La combinaison entre la pente et l'aire drainée semble indispensable. À titre d'exemple, dans la Creuse des phénomènes érosifs sont observés à partir de pentes de 2% seulement si ces pentes sont associées à une longueur de pente importante.

D'autres indices topographiques, comme le TI (*Topographic Index*, [Beven and Kirkby, 1979](#)) sont proposés pour améliorer le facteur topographique. Certains acteurs locaux suggèrent que l'indice topographique utilisé soit corrigé grâce à la texture et à l'épaisseur de sol pour y intégrer l'infiltration et le ruissellement.

### 3.2.2.4 Climat

Le facteur climatique représente spatialement la quantité des pluies (cumul saisonnier) et l'agressivité des événements pluvieux (nombre total de jour par saison avec une quantité de pluie journalière supérieure à 15 mm/j). La base de données employée est la base SAFRAN, qui fournit des données à l'échelle journalière avec une maille de 8 km. Les critiques des acteurs locaux à la méthode employée concernent la résolution spatiale des données d'entrée (Bretagne) et l'agressivité des événements pluvieux. De plus, d'autres processus, qui ne sont pas pris directement en compte par la modélisation dans certains territoires sont suggérés.

**Aggressivité des événements pluvieux** Dans la modélisation, le seuil pour classifier l'agressivité des précipitations est de 15 mm/jour. Cette valeur a été amplement discutée pendant les réunions, selon les caractéristiques des territoires. Nous présentons ici les valeurs seuils et les caractéristiques spécifiques de diverses régions du bassin Loire-Bretagne.

Dans le bassin de l'Authion, le passage entre le printemps et l'été est la période où l'aléa climatique pour l'érosion hydrique est le plus important. Des pluies à 20-25 mm/h ont parfois été observées. Pour ce territoire le seuil pour le déclenchement des phénomènes érosifs est proposé à 15 mm sur 1 h 30. Dans le bassin du Puy-en-Velay, les glissements de terrain sont déclenchés par des précipitations de l'ordre de 100-120 mm/48h. Ces types des phénomènes sont observés surtout pendant les mois de mai et juin, ainsi qu'en octobre. En outre, il semble fondamental de prendre en compte la pluviométrie antécédente lors de la modélisation des phénomènes érosifs. Cela s'explique par la lithologie. En Bretagne, le seuil d'intensité pour le déclenchement des phénomènes érosifs peut être estimé entre 8 et 10 mm/h. Ce seuil varie toutefois en fonction de l'état de surface du sol. En effet, pour des sols sensibles à la battance, des phénomènes pluvieux importants imperméabilisent la surface du sol ce qui, par conséquent, augmente sa sensibilité à l'érosion pour des aléas pluviométriques ultérieurs moins importants. Dans l'Indre, le massif forestier en bordure de la Champagne Berrichonne donne lieu à un microclimat local un peu plus pluvieux, qui n'est pas observé à l'échelle des données employées. D'autres phénomènes pluvieux plus marqués sont présents au niveau d'un couloir orageux entre l'est de l'Indre et Bourges. En moyenne, l'intensité pour laquelle les ravines sont observées peut être fixée à 15 mm/h. En hiver et au printemps (Avril et Mai), les ravines se concentrent sur certaines zones qui dépendent des orages. Une prise en compte de la combinaison des pluies et des caractéristiques des sols (réserve utile) est par ailleurs suggérée. Enfin, l'état hydrique des sols (Champagne Berrichonne et également Eure-et-Loir) est un autre processus qui influence l'effet de l'aléa climatique. En Bourgogne, l'intensité des orages n'est pas clairement identifiable au niveau spatial. Pour le risque d'inondation, dans des travaux de la DDT 58, la limite a été fixée à 6 mm en 30 minutes.

En conclusion, ces divers exemples montrent que : (i) il serait souhaitable de disposer d'une base de données à pas de temps plus fin (mm/h) ; (ii) le seuil d'agressivité semble variable selon les secteurs considérés et (iii) le seuil évolue selon l'état de surface et l'état hydrique du sol. Ces trois points pourront à l'avenir faire l'objet d'une étude approfondie.

### 3.2.2.5 Combinaison de facteurs

Pour certains acteurs, dans le modèle, l'occupation du sol est perçue comme ayant parfois trop de poids. Cela concerne deux principaux types d'occupation du sol : les prairies et les forêts. Par exemple, dans la Creuse et en Lozère, l'aléa érosion est peu contrasté. En effet, les prairies et les forêts sont majoritaires et ces deux types d'occupation du sol distinguent peu des niveaux de sensibilité des sols à l'érosion. Une des pistes serait de décliner davantage de combinaisons avec les autres facteurs. Néanmoins ces modifications n'impacteraient probablement pas la hiérarchisation des bassins versants de masses d'eau à l'échelle du bassin Loire-Bretagne.

Plusieurs exemples de combinaisons sont présentés ci-après, permettant d'interpréter les résultats de la cartographie. Dans la Creuse, la combinaison de plusieurs facteurs comme les céréales de printemps, la longueur de la pente, le travail du sol, la texture du sol détermine les aléas les plus forts. En Bretagne, la combinaison des facteurs qui déclenche plus couramment les phénomènes érosifs est les orages de Mai - Juin, sur les cultures de printemps (par exemple le maïs), travaillées dans le sens de la pente. En outre, en hiver, les céréales sont les cultures les plus sensibles à l'érosion. En Eure-et-Loir, les rotations culturales, les faibles pentes, le réseau hydrographique très peu dense et les pluies peu agressives, rendent ce bassin peu soumis à l'aléa érosif, même si les sols sont très battants.

De manière générale, l'évaluation a permis de préciser les atouts et les limites du modèle. Tous les acteurs identifient l'occupation du sol comme le facteur prédominant dans la détermination de l'intensité d'érosion. Il s'agit en effet du facteur qui a été le plus discuté. L'évaluation de la prise en compte de ce facteur montre qu'il existe certains problèmes de nomenclature (semences, prairies, etc.) principalement liés à l'absence de précision dans les données disponibles. Il semble par ailleurs important selon les experts de prendre en compte dans le futur les rotations et les modes d'entretien du sol, dans la mesure où les données deviendront disponibles. Concernant les propriétés des sols, le problème majeur concerne la résolution spatiale de la base de données utilisée. La disponibilité future de la base de données RRP sur tout le territoire permettra de résoudre en grand partie ce problème. La prise en compte de la topographie ne semble pas révéler de problèmes majeurs. Enfin, la limite principale du facteur climatique concerne la résolution temporelle.

### 3.2.3 Conséquences de l'érosion

#### 3.2.3.1 Impacts environnementaux

La principale remarque des acteurs locaux est qu'il leur est très difficile d'évaluer les impacts environnementaux de l'érosion des sols agricoles sur les masses d'eau. Les acteurs identifient par contre clairement l'érosion des berges, du lit des rivières et le fonctionnement des ouvrages hydrauliques comme responsables de la diminution de la qualité de l'eau et du milieu aquatique. L'impact le plus discuté était le colmatage des cours d'eau, notamment en tête de bassins versants. Par exemple sur le bassin de l'Authion, les interventions pour la régulation du transport des sédiments dans les cours d'eau n'ont quasiment aucun effet, si elles ne sont pas associées à l'aménagement des versants cultivés.

#### 3.2.3.2 Impacts agronomiques

En général, les impacts agronomiques sont difficiles à identifier et à quantifier par les acteurs locaux. L'un des aspects le plus mentionné, concerne le semis de maïs : l'impact direct est la répétition de l'opération de semis lorsque l'érosion a emporté la couche superficielle du sol avec les graines. Par contre, l'effet de la diminution de la fertilité n'est pas clairement quantifié. Toutefois, sur le bassin Loire-Bretagne, les zones les plus sensibles à l'érosion ont vu une montée de la prise de conscience de la part des agriculteurs, qui s'orientent (également pour des aspects économiques) depuis environ 10 ans vers les TCS (Techniques Culturelles Simplifiées).

En outre, en Loir-et-Cher, les impacts agronomiques suite aux phénomènes érosifs se traduisent dans l'abandon de certaines cultures qui ont un système racinaire faible.

### 3.2.4 Autres commentaires

Les experts locaux ont à plusieurs reprises exprimé leur préférence pour une cartographie qui ne prenne pas en compte la couverture du sol mais seulement le "potentiel" physique du milieu (topographie et pédologie). Toutefois, si ce type de carte aide dans la prise de décision au niveau local, elle ne répond pas aux objectifs et aux besoins des documents de planification du bassin Loire-Bretagne.

### 3.2.4.1 Aléa

Le concept d'aléa (probabilité), représenté sur l'atlas, n'est pas simple à valider avec l'expertise de terrain. Une carte de la sensibilité des sols à l'érosion semble selon les experts plus adaptée pour la phase de validation.

### 3.2.4.2 Échelle temporelle

L'échelle temporelle a été discutée concernant à la fois les aspects de l'occupation du sol et du climat. Pour l'occupation du sol, il a été en effet nécessaire d'utiliser des données dont les dates sont légèrement différentes sur une étendue temporelle maximale de 4 ans. Hormis cas particuliers de changement important de l'occupation du sol, cela nous permet tout de même de représenter les tendances d'occupation du sol. Pour le climat, l'étendue temporelle et le pas de temps ont été évoqués. Il serait souhaitable de disposer d'une base de données climatique plus longue que les 13 années disponibles. Par ailleurs, les zones à cumul de pluie important peuvent être très pénalisées, car l'agressivité des pluies n'est prise en compte qu'avec un pas de temps journalier.

### 3.2.4.3 Échelle spatiale

Souvent l'approche de l'étude est perçue comme trop globale et générale par rapport aux emprises spatiales des connaissances des acteurs locaux interpellés. D'autres études globales (cartographie des zones humides par exemple) ont présenté les mêmes limites de représentation généralisée de phénomènes très localisés.

### 3.2.4.4 Intégration par BV

**Cartographie** L'interprétation de la représentation de l'aléa intégré par bassin versant de masse d'eau est globalement perçue comme difficile par les acteurs, à la différence de l'atlas. L'utilisation des bassins versants de masses d'eau comme unité opérationnelle n'est en effet pas répandue parmi les experts. Par ailleurs, le découpage en masse d'eau ne correspond parfois pas au découpage en bassins versants gérés par les acteurs du territoire (Creuse, Auvergne). Certains acteurs préfèrent un découpage par canton ou par commune où ils se retrouvent plus selon leurs connaissances (Poitou-Charentes). Toutefois, certains acteurs parviennent à évaluer la cartographie intégrée en comparant leur territoire aux territoires voisins. Par ailleurs, cette classification a permis aux experts de relativiser leur évaluation de l'intensité des phénomènes érosifs observés localement par rapport au contexte de la Loire-Bretagne (Auvergne, Bretagne, Nièvre, Indre-et-Loire).

Les acteurs suggèrent de construire une carte intégrée avec davantage de classes pour une analyse plus fine ou encore de représenter plusieurs cartes faisant chacune référence aux pourcentages relatifs d'occurrence de chaque classe d'aléa au sein des bassins versants. L'intégration par bassin versant proposée dans ce rapport répond à un besoin des documents de planification du bassin Loire-Bretagne, mais d'autres types de représentations proposées sont tout à fait réalisables à partir de la cartographie pixellisée au pas de 1 km.

**Proposition d'évaluation des résultats** Les acteurs suggèrent que l'amélioration du modèle s'appuie sur la comparaison avec des données et des observations sur des petits bassins versants instrumentés (exemple du bassin des Martinats - Creuse). La cartographie proposée ne représente

pas l'érosion effective, mais une potentialité érosive. L'éventuelle comparaison avec des données mesurées devra donc en tenir compte.

#### 3.2.4.5 Éléments linéaires et érosion des berges

D'autres variables relatives aux aménagements paysagers sont souvent mentionnées pour l'intégration dans la modélisation. Il s'agit notamment des haies, des bandes enherbées, des chemins d'accès aux parcelles, etc. Ces éléments n'ont pas été pris en compte, car l'objectif de ce travail était de modéliser la potentialité de mobilisation des particules sur les versants. Des travaux de recherche en cours, financés par l'AELB dans le cadre du même projet, visent à prendre en compte ces éléments pour mieux représenter les exports de matière vers les masses d'eau.

L'érosion des berges, qui n'est pas un processus pris en compte par le modèle, a été abordée à plusieurs reprises. Des données sont déjà disponibles. Par exemple, en 2004, un état des lieux du lit et des berges des cours d'eau a été cartographié à l'échelle de la Loire-Bretagne dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau (outil REH).

La démarche d'échange et de collaboration avec les acteurs locaux a été bien accueillie et ils souhaitent la poursuivre dans des études ultérieures. L'intégration de leurs propositions est attendue pour la prochaine cartographie, dans la mesure où les données disponibles le permettront.

L'évaluation auprès des acteurs locaux a permis de préciser les limites de la cartographie lors de l'interprétation au niveau local. Néanmoins, l'utilisation à l'échelle du bassin Loire-Bretagne est valable pour hiérarchiser les bassins entre-eux. En effet, l'essentiel des argumentations locales ne permet pas d'identifier des variables homogènes, généralisés à l'ensemble du territoire et avec une résolution spatiale suffisante pour être intégrées dans la méthodologie de modélisation.

En outre, les réunions ont permis la rencontre entre acteurs du territoire qui n'étaient pas nécessairement amenés à débattre auparavant. Cette occasion a permis un échange très constructif entre acteurs de domaines différents. En effet, le partage des connaissances entre acteurs avec des compétences très différentes aide à la compréhension des processus et permet la ré-interprétation de l'expérience de terrain.

Enfin, l'évaluation a permis aux acteurs locaux de s'approprier la cartographie de l'aléa érosif.



# Chapitre 4

## Résultats

Les résultats bruts du modèle MESALES-2014 sont constitués de quatre cartes (une par saison) en format raster (50 m) avec une valeur d'aléa de 1 (aléa érosif très faible) à 7 (aléa érosif le plus fort) par pixel<sup>1</sup> (figures 2.17 et 2.18). Toutefois, les résultats de la modélisation nécessitent une transformation avant d'être communiqués sous forme cartographique. Cette transformation concerne à la fois des aspects temporels et spatiaux.

**Intégration annuelle** Un résultat annuel est calculé à partir des résultats de l'aléa pour chacune des quatre saisons. Cela apporte une information complémentaire.

**Reclassification et rééchantillonnage spatial au pixel** Les différentes résolutions des données d'entrée nécessitent un rééchantillonnage de la résolution spatiale des résultats. Pour cela les cartes d'aléa ont été rééchantillonnées à 1 km.

**Unités Spatiales d'Intégration** Les résultats du modèle sont intégrés à l'échelle des bassins versants de masse d'eau, afin de les hiérarchiser sur l'ensemble du territoire d'étude.

### 4.1 Intégration

#### 4.1.1 Intégration annuelle

La synthèse des résultats saisonniers est effectuée afin d'obtenir un aléa érosion annuel. Étant donné que la carte représente le potentiel d'occurrence d'un phénomène érosif, la démarche choisie consiste à calculer, pour chaque pixel, la valeur annuelle comme la valeur d'aléa maximale observée parmi les 4 valeurs saisonnières.

#### 4.1.2 Reclassification et rééchantillonnage spatial au pixel

La sortie brute du modèle différencie 7 classes d'aléa. Ce type de classification est trop détaillé pour être aisément exploité par les gestionnaires. Nous avons par conséquent **reclassifié** les 7 classes d'aléa en 3 classes. Dans cette restitution, toutes les opérations de calcul utilisées pour la reclassification des niveaux d'aléa maintiennent le pourcentage de la classe d'aléa le plus fort toujours autour de 15 % pour l'aléa annuel. Cette valeur est déterminée par les connaissances concernant les pourcentages d'érosion des sols cultivés issus d'autres modélisations (Cerdan et al., 2010).

---

1. Les autres valeurs correspondent à : **13** zone où manquent une ou plusieurs données d'entrée, **11** zone urbanisée, **44** espace ouvert, **55** zone humide, étendue d'eau, marais

Les classes pour toutes les saisons et pour l'intégration annuelle sont ainsi cartographiées de la façon suivante :

- 1 - vert** aléa de nul à très faible (classe 1),
- 2 - jaune** aléa de faible à moyen (classes 2 et 3),
- 3 - rouge** aléa de fort à très fort (classes de 4 à 7)
- gris** zone non modélisée (classes 11, 13, 44, 55).

Le **rééchantillonnage**<sup>2</sup> au pixel vise à tenir compte de la résolution spatiale variable des données d'entrée. Cela est nécessaire pour respecter les règles de représentation cartographique. En effet, la résolution des pixels (50 m) est fonctionnelle pour les opérations de calcul, mais elle n'est pas valable en tant que résolution finale de communication des résultats. La restitution des résultats nécessite donc un rééchantillonnage au pixel à une résolution moins fine. Selon la résolution des données d'entrée, la résolution optimale pour le rendu cartographique est de 1 km sur 1 km (Hengl, 2006)<sup>3</sup>.

Le tableau 4.1 illustre les pourcentages de chaque classe d'aléa annuel et selon la saison pour les cartes au pixel. Il existe une importante variation des classes d'aléa entre les saisons. On observe notamment que l'aléa le plus fort est représenté en automne (8%) alors qu'il est en été de 1%. Par ailleurs, les résultats au pixel sont présentés en figures 4.1 et 4.2.

TABLEAU 4.1: Pourcentages des classes d'aléa par saison (valeurs arrondies valables pour la cartographie à 50 m et à 1 km).

<b>Aléa érosif</b>	<b>Annuel</b>	<b>Hiver</b>	<b>Print</b>	<b>Été</b>	<b>Autom</b>
<i>de nul à très faible</i>	57	68	71	84	64
<i>de faible à moyen</i>	24	19	18	11	21
<i>de fort à très fort</i>	14	8	6	1	10

2. Arcgis - mettre la fonction utilisée

3. [http://spatial-analyst.net/DATA/GRID\\_CALC.xls](http://spatial-analyst.net/DATA/GRID_CALC.xls)



(A) hiver



(B) printemps

FIGURE 4.1: Aléa en trois classes, résolution 1 km x 1 km (1).



(A) été



(B) automne

FIGURE 4.2: Aléa en trois classes, résolution 1 km x 1 km (2).

### 4.1.3 Intégration spatiale aux bassins versants de masse d'eau (BVME)

L'intégration spatiale selon des zones définies<sup>4</sup> facilite le travail des usagers et des gestionnaires, grâce à la synthèse de l'information de l'aléa érosif sur une zone déterminée. Différentes classifications prioritaires des unités spatiales sont ainsi possibles selon les objectifs posés par les gestionnaires. En effet, les règles pour classer les unités selon le pourcentage des classes d'aléa peuvent être modifiées par les usagers. De la même façon, le nombre des bassins versants dans chaque classe peut être modifié à la demande.

**Unité Spatiale d'Intégration** L'unité spatiale retenue pour l'intégration des résultats annuels et saisonniers est le bassin versant de masse d'eau (BVME). C'est en effet la plus petite unité de gestion des eaux et de planification utilisée à l'échelle de l'ensemble du bassin Loire-Bretagne. Les BVME sont aussi utilisés par les SAGE et les contrats territoriaux, bien que d'autres découpages plus précis puissent être utilisés localement.

**Hiérarchisation** Nous avons utilisé la carte au pixel de 50 m en 3 classes pour la hiérarchisation des bassins versants. Le critère utilisé pour l'attribution d'une classe d'aléa à chaque bassin versant se base sur le pourcentage de la surface du bassin versant appartenant à chaque classe d'aléa.

Nous avons d'abord analysé la carte de l'aléa annuel. Nous avons mis en place une procédure pour classer les bassins versants selon les propositions des trois classes de la carte au pixel. Le résultat de l'intégration spatiale peut être affiché soit en trois classes (1 : aléa de nul à très faible, 3 : aléa de faible à moyen, 5 : aléa de fort à très fort) soit en quatre classes (1 : aléa de nul à très faible, 2 : aléa faible, 3 : aléa moyen, 4 : aléa de fort à très fort). La méthode d'intégration spatiale pour passer des valeurs des pixels à une valeur d'aléa pour le BVME entier se fait en quatre étapes. La quatrième étape est différente selon que l'on souhaite classer les bassins en trois ou en quatre classes.

- 1 Pour chaque BVME, la surface modélisée et le pourcentage relatif des classes d'aléa érosifs sont calculés.
- 2 Les bassins versants sont ensuite triés par ordre décroissant de pourcentage de leur surface modélisée occupée par la classe d'aléa fort à très fort.  
Les surfaces modélisées des bassins sont sommées dans cet ordre jusqu'à atteindre le même pourcentage que celui représenté par les pixels classés en aléa de fort à très fort sur toute la Loire-Bretagne (par exemple, pour l'hiver, 14% du territoire Loire-Bretagne est classé en aléa fort à très fort). Les bassins versants ainsi choisis constituent les bassins à aléa fort à très fort.
- 3 Les bassins ayant un pourcentage de la surface en aléa de nul à très faible supérieur à 70 % sont classés en aléa "de nul à très faible".
- 4 Les bassins restants sont classés comme bassins à aléa de faible à moyen.

Une fois la carte produite, nous avons observé que plus de la moitié des bassins versants était classée en aléa moyen (tableau 4.2). La cartographie résultante (carte 4.3a), donne une information satisfaisante pour les classes extrêmes, mais homogénéise le territoire pour la classe intermédiaire. Nous avons donc séparé la classe intermédiaire (de faible à moyen) en deux sous-classes : aléa

4. Par exemple, par bassin de masse d'eau, par périmètre de contrats territoriaux, de SAGE ou par commune.

faible et aléa moyen. La quatrième étape de la procédure pour la classification des bassins versants est donc remplacée par l'étape suivante :

- 4b** Les bassins restants sont classés en deux classes : aléa faible et aléa moyen. Les bassins en aléa faible ont un pourcentage de surface en aléa de fort à très fort inférieur à 15 %. Les bassins versants restants ont donc une surface en classe de fort à très fort supérieure à 15 % mais inférieure au seuil des bassins déjà classifiés en de fort à très fort (par exemple, autours de 34 % pour l'automne).

La figure 4.3b montre les résultats de la classification sur l'aléa annuel. Nous pouvons donc mieux différencier les bassins versants avec un aléa intermédiaire.

Cette classification indique toujours la même proportion de surface de bassin classifiée en aléa de fort à très fort. Par contre, le nombre de bassins versants classifiés en fort à très fort changent selon chaque saison. 5 bassins restent toujours en aléa de fort à très fort et 149 en aléa de fort à très fort et moyen. 83% des bassins restent pour les quatre saisons en aléa de nul à très faible (926 bassins) et en aléa de nul à très faible et faible (838 bassins).

TABLEAU 4.2: Intégration par bassins versants de masses d'eau en trois classes - aléa annuel.

<b>Annuel</b>	<b>nul-très faible</b>	<b>faible-moyen</b>	<b>fort-très fort</b>	<b>Total</b>
nombre de bassins versants	769	1 005	347	2 121
	36%	47%	16%	100%
surface des bassins	48 671	78 836	22 356	149 863
	32%	53%	15%	100%

TABLEAU 4.3: Intégration par bassins versants de masses d'eau en quatre classes - aléa annuel.

<b>Annuel</b>	<b>nul-très faible</b>	<b>faible</b>	<b>moyen</b>	<b>fort-très fort</b>	<b>Total</b>
nombre de bassins versants	769	452	553	347	2 121
	36%	21%	26%	16%	100%
surface des bassins	48 671	35 598	43 238	22 356	149 863
	32%	24%	29%	15%	100%

TABLEAU 4.4: Intégration par bassins versants de masses d'eau - aléa hiver.

<b>Hiver</b>	<b>nul-très faible</b>	<b>faible</b>	<b>moyen</b>	<b>fort-très fort</b>	<b>Total</b>
nombre de bassins versants	1 158	465	278	220	2 121
	55%	22%	13%	10%	100%
surface des bassins	77 405	37 750	21 811	12 897	149 863
	52%	25%	15%	9%	100%

TABLEAU 4.5: Intégration par bassins versants de masses d'eau - aléa printemps.

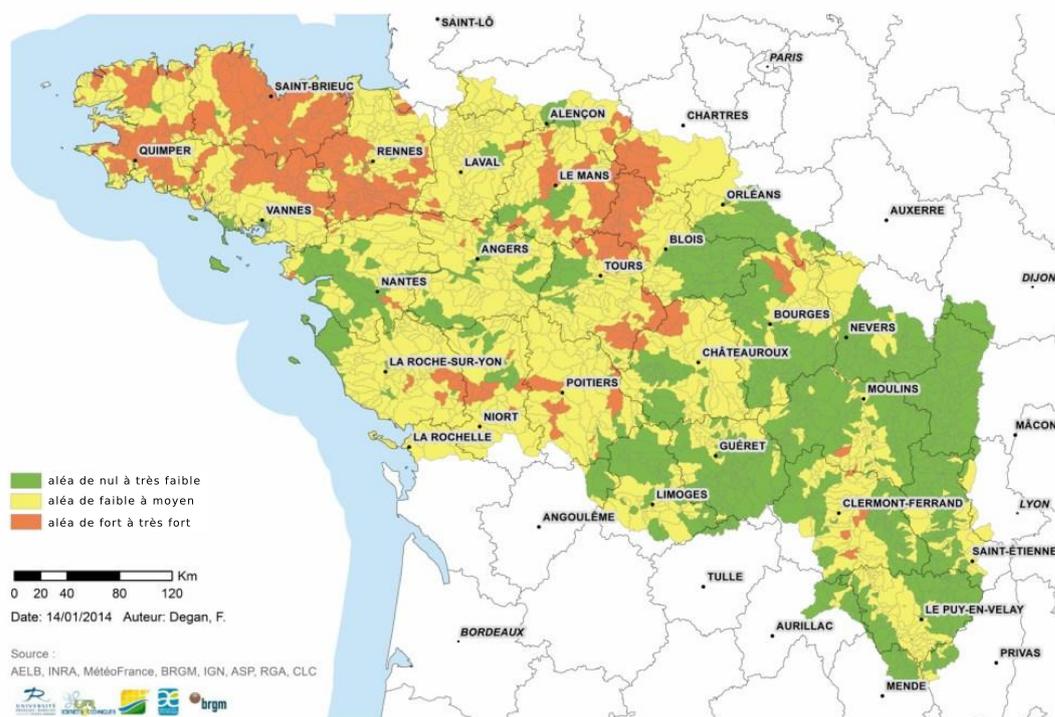
<b>Printemps</b>	<b>nul-très faible</b>	<b>faible</b>	<b>moyen</b>	<b>fort-très fort</b>	<b>Total</b>
nombre de bassins versants	1 362	461	148	150	2 121
	64%	22%	7%	7%	100%
surface des bassins	100 813	30 774	8 750	9 526	149 863
	67%	21%	6%	6%	100%

TABLEAU 4.6: Intégration par bassins versants de masses d'eau - aléa été.

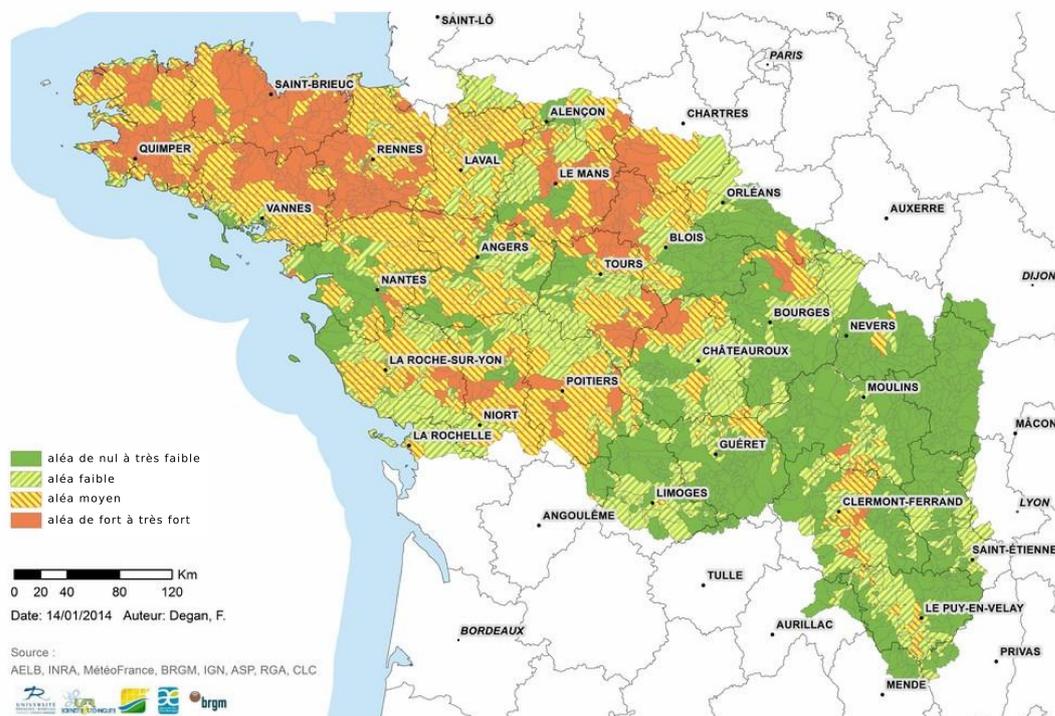
<b>Été</b>	<b>nul-très faible</b>	<b>faible</b>	<b>moyen</b>	<b>fort-très fort</b>	<b>Total</b>
nombre de bassins versants	1 926	170		25	2 121
	91%	8%	0%	1%	100%
surface des bassins	139 215	9 644		1 004	149 864
	93%	6%	0%	1%	100%

TABLEAU 4.7: Intégration par bassins versants de masses d'eau - aléa automne.

<b>Automne</b>	<b>nul-très faible</b>	<b>faible</b>	<b>moyen</b>	<b>fort-très fort</b>	<b>Total</b>
nombre de bassins versants	1 026	497	362	236	2 121
	48%	23%	17%	11%	100%
surface des bassins	66 634	38 598	28 461	16 170	149 863
	44%	26%	19%	11%	100%

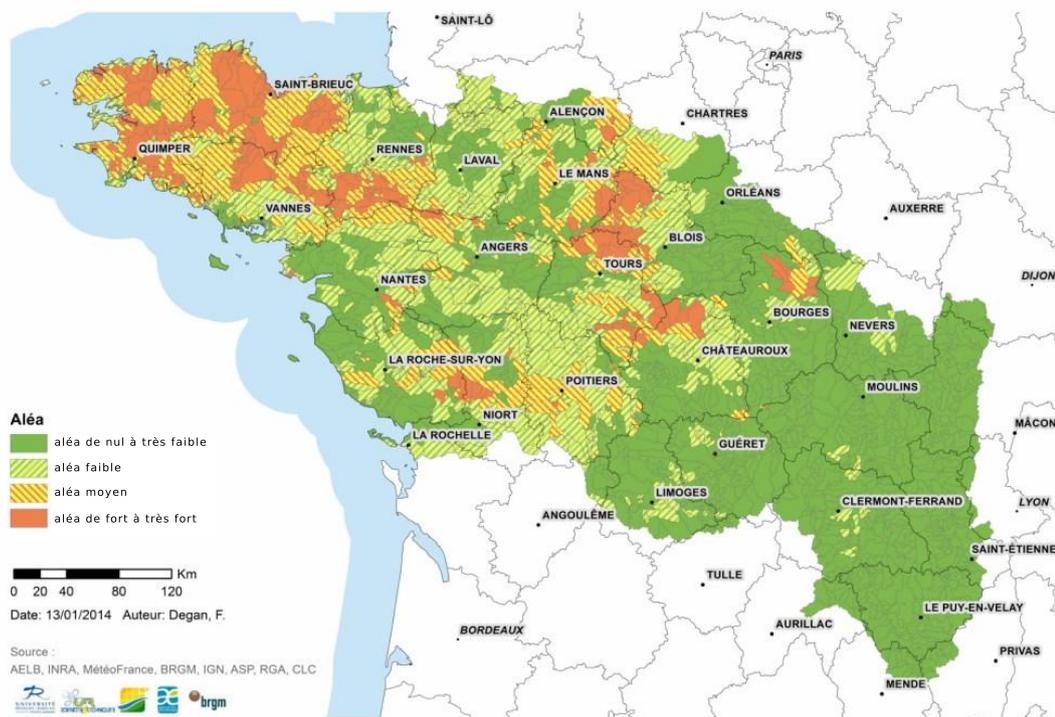


(A) Trois classes

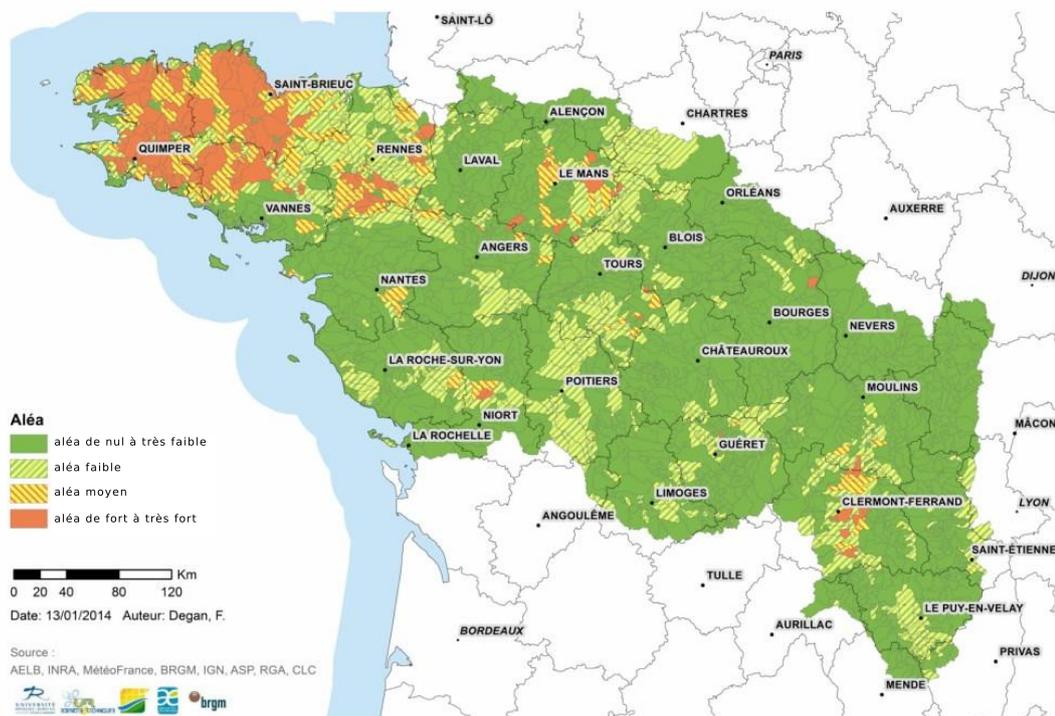


(B) Quatre classes

FIGURE 4.3: Aléa annuel en quatre classes et en trois, intégré par bassin versant

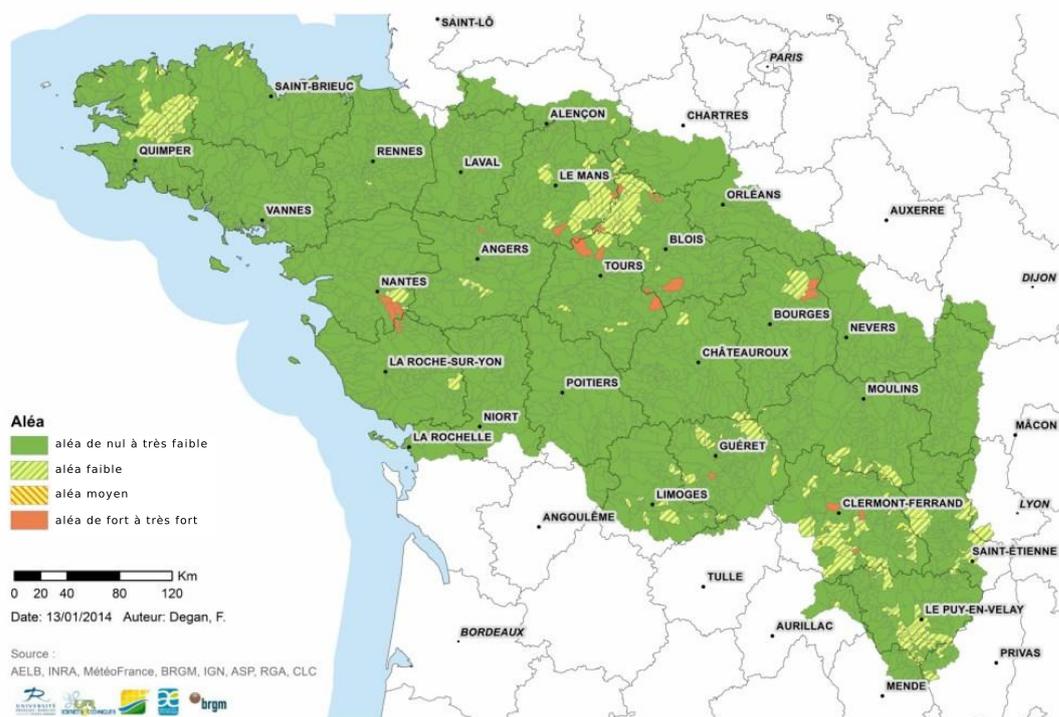


(A) hiver

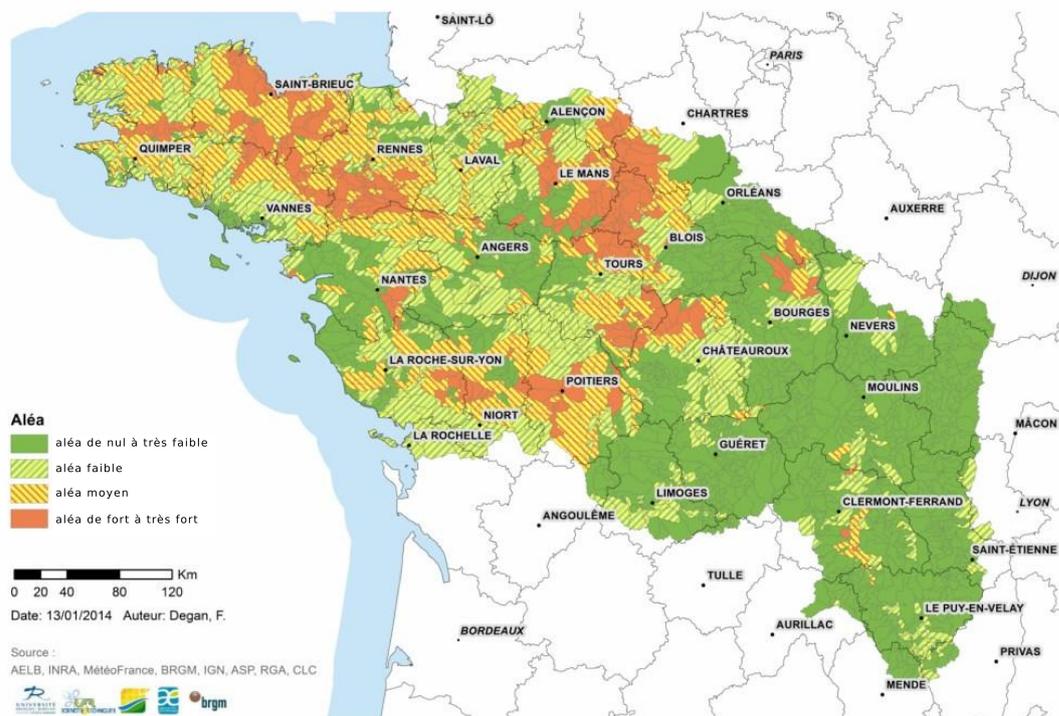


(B) printemps

FIGURE 4.4: Aléa saisonnier en quatre classes, intégré par bassins versants (1).



(A) été



(B) automne

FIGURE 4.5: Aléa saisonnier en quatre classes, intégré par bassins versants (2).

## 4.2 Comparaison avec la cartographie précédente

Les différences avec la cartographie existante sont liées à des modifications des plusieurs ordres :

- nouvelles bases de données ;
- résolution de 1 km pour les résultats ;
- successions des cultures sur trois ans et fort poids du sol nu ;
- classification en trois ou quatre classes d'aléa, par an et par saison ;
- hiérarchisation des bassins versants de masses d'eau.

Au niveau spatial (figures 4.6 et 4.7) les zones qui restent classées en aléa de fort à très fort sont :

- les bassins au sud-est de l'Indre-et-Loire, à la frontière avec l'Indre,
- les bassins entre le Loire-et-Cher, la Sarthe et l'Eure-et-Loir,
- les bassins entre le nord-est du Cher et le Loiret,
- certains bassins en Vendée et dans le Deux-Sèvres,
- certains bassins en Bretagne (Côtes d'Armor).

D'autre part la nouvelle cartographie permet d'identifier des nouveaux bassins en aléa de fort à très fort dans la plaine de la Limagne et à la limite entre la Bretagne et les Pays-de-la-Loire. Les bassins qui étaient précédemment classés en aléa fort ou très fort et qui dans la cartographie actuelle sont classés en aléa moyen sont les bassins au sud de Limoges, au sud de la Haute-Loire et à l'est des départements de la région Rhône-Alpes.

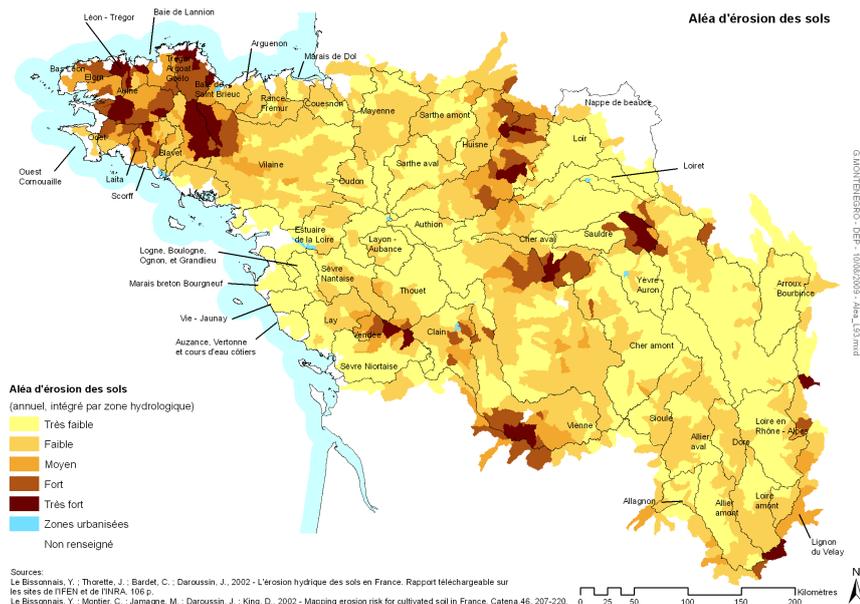


FIGURE 4.6: Cartographie de l'aléa érosif (source : base SYRAH Chandesris et al., 2009).

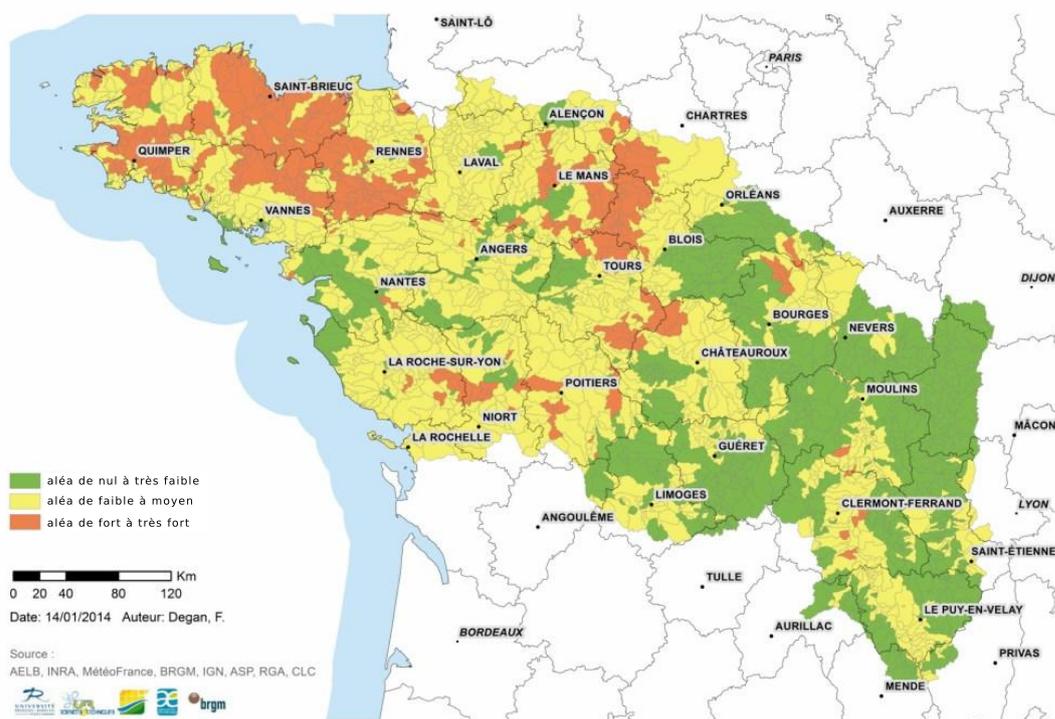


FIGURE 4.7: Aléa annuel MESALES-2014 en trois classes.

# Chapitre 5

## Conclusions

L'Agence de l'Eau Loire-Bretagne a constaté depuis une dizaine d'années une augmentation du colmatage des cours d'eau pouvant résulter de l'érosion des sols. Dans ce contexte, l'analyse spatiale de l'aléa érosif constitue un outil pour identifier les zones du territoire les plus susceptibles d'être soumises à l'érosion hydrique. Cette cartographie fait partie du dossier de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne pour l'établissement du nouveau SDAGE 2016 – 2021. La carte du SDAGE précédent (2010 - 2015) reprenait la cartographie nationale de l'INRA-IFEN 1998 - 2002.

L'objectif était ici d'affiner les résolutions spatiales et temporelles pour modéliser les phénomènes érosifs susceptibles de se déclencher à l'échelle de la parcelle sur l'ensemble du bassin Loire-Bretagne (155 000  $km^2$ ). L'extension régionale de la zone d'étude représente un défi par rapport à la diversité des territoires, à l'homogénéité des bases de données disponibles, à la haute résolution spatiale des résultats et à la prise en compte d'une occupation du sol fine et dynamique.

Nous avons choisi d'adapter le modèle MESALES (Le Bissonnais et al., 2002a) pour cartographier l'aléa érosif en Loire-Bretagne. Ce modèle a en effet été développé spécifiquement pour la modélisation de l'érosion hydrique des versants cultivés en climat tempéré. Sa robustesse et son adaptabilité permettent de l'utiliser pour représenter les différents contextes agro-pédo-climatiques de la Loire-Bretagne. Nous avons amélioré le modèle MESALES selon trois axes : la précision des données d'entrée, la combinaison des facteurs érosifs et l'évaluation du modèle par expertise. Enfin, nous avons représenté les résultats de la modélisation spatiale à l'aide d'une méthode adaptée aux exigences opérationnelles de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne.

Le modèle MESALES-2014 prend en compte quatre grands types de facteurs : les sols, l'occupation du sol, le climat et la topographie. La première amélioration du modèle réside dans le calcul des facteurs érosifs à partir des nouvelles bases de données. Les bases de données utilisées pour le calcul des quatre types de facteurs sont homogènes sur le territoire et ont une résolution spatiale comprise entre 50 m et 8 km. La plage temporelle s'étend de 1998 à 2010, l'échelle temporelle est la saison. Ces caractéristiques améliorent la résolution spatiale et temporelle des résultats. La nomenclature des nouvelles bases permet de caractériser plus précisément les facteurs érosifs et ainsi de différencier plus finement les niveaux d'aléa. Suivant les quatre types de facteurs et les nouvelles bases de données, les variables calculées sont : l'érodibilité et la battance/ruissellement (sols), le taux de couverture du sol (occupation du sol), la pente et l'aire drainée (topographie) et

l'érosivité des pluies, selon l'intensité et le cumul saisonniers (aléa climatique).

Concernant l'occupation du sol, l'utilisation principalement du RPG, mais aussi du RGA et de la base CLC permet de transformer la donnée sur l'occupation du sol en taux de couverture du sol. Les indicateurs quantifiant la sensibilité des sols à l'érosion sont la "battance/ruissellement" et "l'érodibilité". La modification principale concerne les sols sableux-filtrants et les sols caillouteux, pour lesquels la sensibilité à l'érosion a été diminuée.

Le MNT de l'IGN à 50 m permet de calculer la pente et l'aire drainée pour la construction du facteur topographique. La base de données SAFRAN fournit le cumul de pluie par jour, selon une maille de 8 km et pour une plage temporelle de 13 ans. Ces données permettent de calculer l'indice d'érosivité des pluies à partir de la moyenne du cumul par saison et du nombre de jours avec un cumul journalier > 15 mm.

Dans un deuxième temps, nous avons également adapté les combinaisons des facteurs érosifs pour mieux représenter les contextes agricoles de la Loire-Bretagne. En effet, cette modification est nécessaire car nous avons introduit trois classes de taux de couverture du sol pour mettre en valeur la différence d'aléa entre les terres arables.

Les résultats du modèle ont été évalués grâce aux enquêtes auprès des acteurs locaux. 28 réunions pour un total de 170 personnes interrogées ont ainsi fourni les éléments pour apprécier l'adéquation entre la cartographie réalisée et les connaissances de terrain. De manière plus spécifique, ces échanges ont été particulièrement intéressants car ils ont permis d'identifier soit des différences de perception entre les acteurs, soit l'existence de particularités locales non renseignées dans les bases de données de la Loire-Bretagne. Ainsi cette évaluation a permis aux acteurs locaux de bien comprendre les limites de ce travail et par conséquent de s'approprier la cartographie et donc de l'utiliser à bon escient.

Les résultats de la modélisation (les quatre saisons et la synthèse annuelle) sont représentés selon deux résolutions spatiales, soit au pixel de 1 km, soit par bassins versants de masse d'eau. La cartographie des bassins versants permet de les hiérarchiser selon la classe d'aléa érosif. Globalement, entre 15 % et 20 % du territoire en Loire-Bretagne est classé en aléa de "fort à très fort". Le nombre de bassins versants classés de "fort à très fort" change selon chaque saison. Sur 2121 bassins au total, 5 bassins restent toujours en aléa "de fort à très fort"; 149 bassins se trouvent soit en aléa "de faible à moyen" soit "de fort à très fort". 83% des bassins restent pour les 4 saisons en aléa "de nul à très faible" (926 bassins); 838 bassins se trouvent soit en aléa "de nul à très faible" soit "de faible à moyen". Les zones qui changent le plus de classe d'aléa selon la saison sont les bassins céréaliers de la région Centre et du Poitou-Charentes, ainsi que certains bassins de la Bretagne et de la plaine de la Limagne.

Les résultats peuvent être utilisés pour plusieurs objectifs. L'utilisation principale consiste dans la hiérarchisation des bassins versants des masses d'eau par rapport à l'aléa érosif. La cartographie produite a des champs d'utilisation bien définis, liés aux choix de modélisation et à la nature des bases de données. Il est important de bien considérer les limites opérationnelles suivantes :

- La cartographie de l'aléa représente un potentiel érosif et non une érosion avérée.
- La plus petite entité différentiable est de l'ordre de 100 à 1 000 ha.

- 
- L'aléa érosif est local, et il ne doit pas être directement relié au colmatage de rivières, aux glissements de terrain ou aux coulées boueuses,
  - Les itinéraires culturels particuliers ne sont pas pris en compte, de même que les changements d'occupation du sol très récents,
  - La cartographie n'est pas valable pour les épisodes climatiques exceptionnels (événement de période de retour décennale).

L'étape de validation auprès des experts a permis d'envisager des pistes d'évolution pour la modélisation de l'aléa érosif en Loire-Bretagne. Les perspectives d'évolution concernent : l'amélioration de la prise en compte des facteurs érosifs, une étude plus approfondie sur des nouvelles bases de données, l'exploitation de bases de données à résolution plus fine actuellement non disponibles.

Concernant l'occupation du sol, la prise en compte de nouvelles bases de données et la suite du RPG pourront améliorer la modélisation des rotations culturales (nécessitant au moins 5 ans de données). D'autres types de bases de données considèrent les pratiques agricoles (AB, TCS, zones vulnérables, irrigation etc) et la typologie de production agricole des territoires (base ROSACE – INOSYS). Par contre, ces bases de données ne sont pas encore homogènes et exploitables sur l'ensemble du territoire Loire-Bretagne.

Les bases de données sols (DoneSol) à plus haute résolution spatiale (données 1/250 000), lorsqu'elles seront disponibles et harmonisées sur l'ensemble de la Loire-Bretagne devrait permettre d'améliorer la cartographie de l'aléa érosif, ainsi que de perfectionner les règles de pédotransfert (nouveaux paramètres : RU, taux de calcaire, épaisseur du sol, etc.).

La résolution spatiale des données climatiques peut être améliorée grâce à l'introduction d'autres bases de données (par exemple la base SHYREG). D'autre part, le traitement des cumuls des pluies peut s'appuyer sur la quantification de l'énergie cinétique des pluies et sur les périodes de retours, à condition d'avoir des données de stations météorologiques à résolution temporelle infra-journalière et avec une plage temporelle plus importante.



# Références bibliographiques

- Beven, K. J. and Kirkby, M. J. (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology / Un modèle à base physique de zone d'appel variable de l'hydrologie du bassin versant. *Hydrological Sciences Bulletin*, 24(1) :43–69.
- Boardman, J., Poesen, J., and Hasholt, B. (2006). *Soil erosion in Europe*. Wiley Online Library.
- Bouma, J. (1989). Using soil survey data for quantitative land evaluation. In *Advances in soil science*, pages 177–213. Springer.
- Bryan, R. (2000). Soil erodibility and processes of water erosion on hillslope. *Geomorphology*, (August 1999).
- Cerdan, O., Govers, G., Le Bissonnais, Y., Van Oost, K., Poesen, J., Saby, N., Gobin, A., Vacca, A., Quinton, J., and Auerswald, K. (2010). Rates and spatial variations of soil erosion in Europe : A study based on erosion plot data. *Geomorphology*, 122(1-2) :167–177.
- Cerdan, O., Le Bissonnais, Y., Souchère, V., King, C., Antoni, V., Surdyk, N., Dubas, I., Arrouays, D., and Desprats, J. F. (2006a). Guide méthodologique pour un zonage départemental de l'érosion des sols. Rapport numéro3 : Synthèse et recommandations générales. Rapport BRGM-RP-55104-FR. Technical report, BRGM, INRA, Orléans.
- Cerdan, O., Poesen, J., Govers, G., Saby, N., Le Bissonnais, Y., Gobin, A., Vacca, A., Quinton, J., Auerswald, K., and Klik, A. (2006b). Sheet and rill erosion. *Soil Erosion in Europe*, pages 501–513.
- Chandesris, A., Mengin, N., Malavoi, J.-R., Souchon, Y., and Wasson, J.-G. (2009). SYstème Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'Eau. Atlas à large échelle.v.2. Technical report, ONEMA - Cemagref, Lyon.
- Colmar, A. (2006). Evaluation du risque érosif en Bretagne : analyse de sensibilité et validation du modèle IFEN-INRA. Technical report, ENITA, INRA et Agrocampus-Ouest Rennes, Bordeaux, Rennes.
- Colmar, A et Walter, C. (2010). Démarche de validation régionale par avis d'experts du modèle MESALES d'estimation de l'aléa érosif. *Étude et Gestion des Sols*, 17(1) :19–34.
- Daroussin, J. and King, D. (1996). A pedotransfer rules database to interpret the Soil Geographical Database of Europe for environmental purposes. In *The use of pedotransfer in soil hydrology research in Europe. Workshop proceedings. Orléans, France*, pages 25–40.

- Davison, P., Hutchins, M. G., Anthony, S. G., Betson, M., Johnson, C., and Lord, E. I. (2005). The relationship between potentially erosive storm energy and daily rainfall quantity in England and Wales. *The Science of the total environment*, 344(1-3) :15–25.
- Desprats, J. F., Bourguignon, A., Cerdan, O., Le Bissonnais, Y., and Colmar, A. (2006). Guide méthodologique pour un zonage départemental de l'érosion des sols. Rapport numéro1 : Etude de sensibilité sur le département de l'Hérault. RP-55049-FR. Technical report, BRGM, Orléans.
- European Commission (2004). *The European Soil Database distribution version 2.0*. EUR 19945 EN.
- Hengl, T. (2006). Finding the right pixel size. *Computers & Geosciences*, 32(9) :1283–1298.
- Hengl, T. (2009). *A Practical Guide to Geostatistical Mapping*. 23 février 2011, second edi edition.
- Kirkby, M. J., Jones, R. J. A., Irvine, B., Gobin, A., Govers, G., Cerdan, O., Van Rompaey, A. J. J., Le Bissonnais, Y., Daroussin, J., and King, D. (2003). Pan-European soil erosion risk assessment. *The PESERA Map, Version, 1*.
- Lal, R. (2009). Soils and food sufficiency. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(1) :113–133.
- Le Bissonnais, Y., Benkhadra, H., Chaplot, V., Fox, D., King, D., and Daroussin, J. (1998). Crusting, runoff and sheet erosion on silty loamy soils at various scales and upscaling from m2 to small catchments. *Soil and Tillage Research*, 46(1-2) :69–80.
- Le Bissonnais, Y., Montier, C., Jamagne, M., Daroussin, J., and King, D. (2002a). Mapping erosion risk for cultivated soil in France. *Catena*, 46(2-3) :207–220.
- Le Bissonnais, Y., Thorette, J., Bardet, C., and Daroussin, J. (2002b). L'érosion hydrique des sols en France. *Rapport INRA, IFEN*.
- Palka, G. (2010). *Sémiologie graphique expérimentale, pour une cartographie du risque plus adaptée aux besoins et attentes des destinataires*. PhD thesis, Polytech'Tours, Aménagement.
- Poesen, J., De Luna, E., Franca, A., Nachtergaele, J., and Govers, G. (1999). Concentrated flow erosion rates as affected by rock fragment cover and initial soil moisture content. *Catena*, 36(4) :315–329.
- Quintana-Seguí, P., Le Moigne, P., Durand, Y., Martin, E., Habets, F., Baillon, M., Canellas, C., Franchisteguy, L., and Morel, S. (2008). Analysis of Near-Surface Atmospheric Variables : Validation of the SAFRAN Analysis over France. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47(1) :92–107.
- Rawles, W. and Brakensiek, D. (1982). Estimating soil water retention from soil properties. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 108(2) :166–171.
- Schueler, T. and Claytor, R. (2000a). Maryland Stormwater Design Manual , Volumes I. Technical report, Center for Watershed Protection and Maryland Dep. of the Environment, Baltimore, MD.
- Schueler, T. R. and Claytor, R. A. (2000b). Maryland Stormwater Design Manual. Appendix D.13. Technical report, Center for Watershed Protection and Maryland Department of the Environment, Baltimore, MD.

- Surdyk, N., Cerdan, O., and Dubus, I. (2006). Guide méthodologique pour un zonage départemental de l'érosion des sols. Rapport numéro2 : Etude de sensibilité sur le département de l'Oise. RP-55103-FR. Technical report, BRGM, Orléans.
- Vink, A. P. A. (1975). *Cartographie de sols et de paysages en Suisse occidentale*. Kummerly and Frey.



## Annexe A

# Occupation du sol

TABLEAU A.1: Classes d'occupation du sol du RGA. En gris, les classes qui différencient les classes du RPG par rapport aux pratiques culturales (source : AGRESTE).

Code	Libellé
	Blé tendre
1	- Blé tendre d'hiver et épeautre
2	- Blé tendre de printemps
	Blé dur
3	- Blé dur d'hiver
4	- Blé dur de printemps
	Orge et escourgeon
5	- Orge d'hiver et escourgeon
6	- Orge de printemps
	Avoine
7	- Avoine d'hiver
8	- Avoine de printemps
9	Triticale
10	Seigle
11	Maïs-grain et maïs-semence
12	Sorgho-Grain
	Mélanges et autres céréales
13	- Mélanges d'hiver
14	- Mélanges et autres cultures de printemps
	<b>Oléagineux, protéagineux, plantes à fibres (Total)</b>
	<i>Oléagineux</i>
	Colza
15	- Colza grain de printemps et navette
16	- Colza grain d'hiver
17	Tournesol
18	Soja
19	Lin oléagineux
20	Autres oléagineux

Code	Libellé
	<i>Protéagineux</i>
21	Pois protéagineux
22	Fève, féverole
23	Lupin doux
24	Plantes à fibres
	<b>Cultures industrielles</b>
25	Betterave industrielle
26	Tabac
27	Plantes médicinales, à parfum, aromatiques
28	Semences grainières Autres cultures industrielles
29	- Autres cult. indust. sauf chicorée ou endive
	<b>Fourrages et superficies toujours en herbe</b>
30	Maïs fourrage et ensilage
31	Plantes sarclées fourragères Autres fourrages annuels
32	- Légumineuses annuelles
33	- Autres fourrages annuels (hors légumineuses)
34	Prairies artificielles
35	Prairies temporaires
36	Superficie toujours en herbe (STH)
37	Superficie toujours en herbe productive
38	Superficie toujours en herbe peu productive
39	Pommes de terre et tubercules
40	Pommes de terre primeurs ou nouvelles
41	Pommes de terre demi-saison et conservation
42	Plants de pommes de terre Légumes secs
43	- Lentilles, pois chiches, fèves
44	- Légumes secs hors lentilles, pois chiches, fèves
45	Légumes frais, fraises, melons
46	Fleurs et plantes ornementales
47	Cultures permanentes entretenues
48	Vergers 9 espèces
49	Fruits à noyaux
50	Fruits à pépins
51	Fruits à coque
52	Petits fruits
53	Pépinières ornementales, fruitières, forestières
54	Cultures à vocation énergétique
55	Autres cultures permanentes entretenues
56	Jachères
57	Jachères sous contrat (floristique, pollinique et faunistique)
58	Jachères autres

Code	Libellé
59	Jardins et vergers familiaux

TABLEAU A.2: Code des cultures dans le Tableau A.4 pour la reclassification du RPG et du RGA

Code	Libellé
<b>1</b>	Blé tendre : hiver
<b>2</b>	Blé tendre : printemps
<b>4</b>	Orge : hiver
<b>5</b>	Orge : printemps
<b>6</b>	Céréales d'hiver
<b>7</b>	Céréales de printemps
<b>10</b>	Soja
<b>11</b>	Lin oléagineux
<b>12</b>	Pois protéagineux
<b>13</b>	Fève, féverole
<b>14</b>	Lupin doux
<b>32</b>	Betterave industrielle
<b>33</b>	Tabac

TABLEAU A.3: Nomenclature de la base CLC (Source : European Environment Agency).

Code	Libellé
111	Tissu urbain continu
112	Tissu urbain discontinu
121	Zones industrielles et commerciales
122	Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés
123	Zones portuaires
124	Aéroports
131	Extraction de matériaux
132	Décharges
133	Chantiers
141	Espaces verts urbains
142	Équipements sportifs et de loisirs
211	Terres arables hors périmètres d'irrigation
212	Périmètres irrigués en permanence
213	Rizières
221	Vignobles
222	Vergers et petits fruits
223	Oliveraies
231	Prairies
241	Cultures annuelles associées aux cultures permanentes
242	Systèmes culturaux et parcellaires complexes
243	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants
244	Territoires agro-forestiers

Code Libellé	
311	Forêts de feuillus
312	Forêts de conifères
313	Forêts mélangées
321	Pelouses et pâturages naturels
322	Landes et broussailles
323	Végétation sclérophylle
324	Forêt et végétation arbustive en mutation
331	Plages, dunes et sable
332	Roches nues
333	Végétation clairsemée
334	Zones incendiées
335	Glaciers et neiges éternelles
411	Marais intérieurs
412	Tourbières
421	Marais maritimes
422	Marais salants
423	Zones intertidales
511	Cours et voies d'eau
512	Plans d'eau
521	Lagunes littorales
522	Estuaires
523	Mers et océans

TABLEAU A.4: Pourcentage issu du RGA par culture, selon les regroupements du RPG (Source : Agreste). "nn" correspondre à l'absence d'information.

	<b>Bth</b>	<b>Btp</b>	<b>O.h</b>	<b>O.p</b>	<b>C.h</b>	<b>C.p</b>	<b>Soj</b>	<b>L.o</b>	<b>P.p</b>	<b>F.F</b>	<b>L.d</b>	<b>B.i</b>	<b>Tab</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>32</b>	<b>33</b>
Allier	100	0	94	6	94	6	nn	nn	83	17	0	0	0
Cantal	99	1	90	10	98	4	nn						
Haute-Loire	99	1	90	10	97	3	0	0	0	0	0	0	0
Puy-de-Dôme	100	0	88	12	92	8	0	0	100	0	0	95	5
Côtes-d'Armor	99	1	92	8	43	57	73	27	0	100	0	0	74
Finistère	99	1	87	13	37	63	51	49	0	0	100	77	23
Ille-et-Vilaine	100	0	92	8	85	6	0	100	64	28	8		2
Morbihan	99	1	53	47	86	3	nn	nn	81	12	7	nn	nn
Manche	96	4	75	25	94	6	nn	nn	50	46	4	nn	nn
Orne	100	0	95	5	94	6	nn	nn	68	31	1	nn	0
Côte-d'Or	99	1	76	24	85	15	35	2	78	22	0	0	0
Nièvre	100	0	56	44	66	0	100	0	100	0	0	0	0
Saône-et-Loire	100	0	95	5	95	5	100	0	86	14	0	0	0
Yonne	100	0	83	17	79	21	11	31	100	0	0	nn	0
Cher	99	1	77	23	85	16	11	69	73	25	2	19	10

	<b>Bth</b>	<b>Btp</b>	<b>O.h</b>	<b>O.p</b>	<b>C.h</b>	<b>C.p</b>	<b>Soj</b>	<b>L.o</b>	<b>P.p</b>	<b>F.F</b>	<b>L.d</b>	<b>B.i</b>	<b>Tab</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>32</b>	<b>33</b>
Eure-et-Loir	51	49	54	46	59	41	0	52	4	48	48	7	0
Indre	100	0	91	9	84	20	0	100	81	18	1	0	0
Indre-et-Loire	100	0	88	12	70	30	9	83	75	25	0	4	5
Loir-et-Cher	100	0	89	11	85	15	17	65	92	8	0	88	0
Loiret	100	0	40	60	87	13	19	68	82	18	0	96	0
Corrèze	95	5	77	23	96	4	0	0	nn	nn	nn	98	2
Creuse	98	2	40	61	15	85	100	0	0	100	0	0	0
Haute-Vienne	99	1	94	6	93	7	100	0	100	0	0	0	nn
Lozère	nn	nn	66	34	91	12	nn						
Charente	99	1	78	22	89	11	20	78	100	0	0	0	92
Charente-Maritime	100	0	42	58	93	7	6	88	100	0	0	44	56
Deux-Sèvres	100	0	92	8	90	10	1	96	80	10	10	0	40
Vienne	100	0	91	9	93	7	52	45	60	0	40	0	100
Loire-Atlantique	100	0	90	10	92	8	0	100	53	28	19	nn	nn
Maine-et-Loire	100	0	90	10	92	8	4	80	57	37	6	5	20
Mayenne	100	0	93	7	95	5	0	0	67	33	0	60	nn
Sarthe	100	0	95	5	92	8	nn	nn	81	19	0	100	0
Vendée	99	1	73	28	91	9	3	96	65	32	3	0	20
Loire	99	1	95	5	97	3	nn	nn	93	7	0	0	0
Rhône	100	0	97	3	84	16	100	0	89	11	0	0	nn
Ardèche	97	3	89	11	87	11	nn	nn	nn	nn	nn	1	0

TABLEAU A.5: Reclassification de la base CLC selon le taux de couverture du sol. Lib = Libellé de la base de données ; C1 = classe COUVERT ; C2 = classe COUVERT modifiée après les enquêtes

<b>CLC</b>	<b>Lib</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>
Territoires artificialisés	100	11	11
Zones urbanisées	110	11	11
Tissu urbain continu	111	11	11
Tissu urbain discontinu	112	11	11
Zones industrielles ou commerciales et réseaux de communication	120	11	11
Zones industrielles et commerciales	121	11	11
Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés	122	11	11
Zones portuaires	123	11	11
Aéroports	124	11	11
Mines, décharges et chantiers	130	11	11
Extraction de matériaux	131	11	11
Décharges	132	11	11
Chantiers	133	11	11
Espaces verts artificialisés, non agricoles	140	11	11

<b>CLC</b>	<b>Lib</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>
Espaces verts urbains	141	11	11
Équipements sportifs et de loisirs	142	11	11
Territoires agricoles	200	2	3
Terres arables	210	2	3
Terres arables hors périmètres d'irrigation	211	2	3
Périmètres irrigués en permanence	212	2	3
Rizières	213	2	1
Cultures permanentes	220	1	1
Vignobles	221	1	1
Vergers et petits fruits	222	1	1
Oliveraies	223	1	1
Prairies	230	7	7
Prairies	231	7	7
Zones agricoles hétérogènes	240	5	5
Cultures annuelles associées aux cultures permanentes	241	5	5
Systèmes cultureux et parcellaires complexes	242	5	5
Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants	243	5	5
Territoires agro-forestiers	244	5	5
Forêts et milieux semi-naturels	300	8	8
Forêts	310	8	8
Forêts de feuillus	311	8	8
Forêts de conifères	312	8	8
Forêts mélangées	313	8	8
Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée	320	7	8
Pelouses et pâturages naturels	321	7	8
Landes et broussailles	322	8	8
Végétation sclérophylle	323	6	6
Forêt et végétation arbustive en mutation	324	6	6
Espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation	330	1	44
Plages, dunes et sable	331	1	44
Roches nues	332	1	44
Végétation clairsemée	333	1	44
Zones incendiées	334	1	44
Glaciers et neiges éternelles	335	55	55
Zones humides	400	55	55
Zones humides intérieures	410	55	55
Marais intérieurs	411	55	55
Tourbières	412	55	55
Zones humides maritimes	420	55	55
Marais maritimes	421	55	55
Marais salants	422	55	55
Zones intertidales	423	55	55

---

<b>CLC</b>	<b>Lib</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>
Surfaces en eau	500	55	55
Eaux continentales	510	55	55
Cours d'eau et voies d'eau	511	55	55
Plans d'eau	512	55	55
Eaux maritimes	520	55	55
Lagunes littorales	521	55	55
Estuaire	522	55	55



**Annexe B**

**Plaque**

# ..... CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA ÉROSIF.....

## Érosion

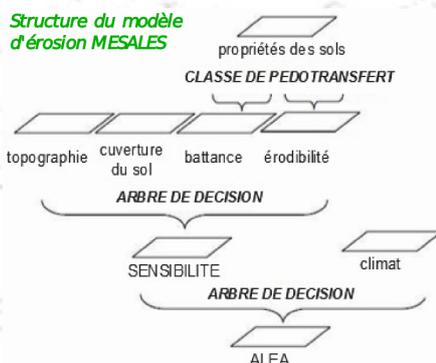
L'érosion est une forme de dégradation du sol, causée par les processus de détachement – transport – sédimentation, qui interviennent à la surface du sol.

L'érosion hydrique est provoquée par l'eau qui ruisselle à la surface des sols. L'érosion peut prendre différentes formes – ravines, rigoles – et générer des conséquences différentes, dont le colmatage de rivières.



## Cartographie

La cartographie du potentiel érosif vise à identifier les zones à plus fort aléa érosif. Dans le bassin versant Loire-Bretagne, les zones à fort aléa érosif représentent entre 15 et 20 % de la surface environ. La cartographie de l'érosion est réalisée grâce à l'application d'un modèle d'érosion de sol agricole, développé par l'INRA (Le Bissonnais *et al.*, 2002). Les facteurs pris en compte par le modèle sont : les propriétés des sols, l'occupation du sol, la topographie et le climat. Les quatre sources d'information sont traitées et intégrées selon les connaissances issues de l'expertise.



Le Bissonnais, Y., Thorette, J., Bardet, C., Daroussin, J. (2002). L'érosion hydrique de sol en France. INRA. IFEN, page 106

## Zonage

Le zonage de l'aléa a été effectué à l'échelle des bassins versants des masses d'eau. Celles-ci sont classifiées selon le pourcentage de surface dans les différentes classes d'aléa.

## Validation

La validation de la modélisation s'appuie sur la consultation des acteurs locaux qui disposent d'une connaissance du territoire cartographié. Les informations récoltées constituent la base pour l'amélioration et l'adaptation du modèle par rapport aux caractéristiques locales, propres aux bassins de la Loire-Bretagne.

**Deux types de questionnaires sont diffusés.**

**Le premier s'adresse aux experts qui ont une connaissance des versants agricoles.**

**Le deuxième se focalise sur les conséquences de l'érosion des versants sur les masses d'eau, notamment par rapport au colmatage et à la turbidité de l'eau.**

**L'atlas cartographique joint au questionnaire permet d'identifier, au sein de chaque bassin versant, la variabilité de l'aléa érosif.**

## >> Contacts <<<<<<<

Les questionnaires et toutes autres remarques sont récoltés par

**Francesca Degan - ingénieur d'étude**  
**laboratoire GÉHCO - EA 6293,**  
**Université François Rabelais**  
**Faculté des Sciences et Techniques -**  
**Parc de Grandmont, 37200 Tours**  
 bureau : 02 47 36 74 02  
 portable : 06 52 54 07 04  
[francesca.degan@univ-tours.fr](mailto:francesca.degan@univ-tours.fr)



# Liste des tableaux

1.1	Facteurs et variables de la modélisation MESALES INRA-IFEN (1998 - 2002) . . .	2
1.2	Facteurs et variables de la modélisation . . . . .	5
2.1	Classes d'occupation du sol du Registre Parcellaire Graphique . . . . .	11
2.2	Classification du taux de couverture du sol . . . . .	12
2.3	Classes du taux de couverture du sol par culture et par saison . . . . .	14
2.4	Classification du taux de couverture du sol . . . . .	15
2.5	Code couvert issu de la classification suite à la combinaison du RPG . . . . .	15
2.6	Sensibilité à la battance . . . . .	22
2.7	Règles d'évaluation de l'érodibilité du matériau parental en 3 classes (Le Bissonnais et al., 1998 in Colmar, 2006). . . . .	22
2.8	Tableau des classes de texture de la FAO selon les pourcentages d'argile et de sable (source : SGDBE). . . . .	23
2.9	Pourcentages des classes de la battance/ruissellement et de l'érodibilité. . . . .	24
2.10	Tableau de combinaisons des classes de pentes et des classes de l'aire drainée . .	27
2.11	Pourcentages du facteur pente . . . . .	28
2.12	Tableau de valeurs du facteur climatique. Hauteur et intensité de pluie - données.	31
2.13	Pourcentage des classes du facteur climatique. . . . .	32
2.14	Classification du taux de couverture du sol . . . . .	37
3.1	Liste des réunions et des acteurs de la validation par expertise. . . . .	50
4.1	Pourcentages des classes d'aléa par saison. . . . .	64
4.2	Bassin versant en trois classes - annuel . . . . .	68
4.3	Bassin versant en quatre classes - annuel . . . . .	68
4.4	Bassin versant - hiver . . . . .	69
4.5	Bassin versant - printemps . . . . .	69
4.6	Bassin versant - été . . . . .	69
4.7	Bassin versant - automne . . . . .	69
A.1	Classes d'occupation du sol du RGA . . . . .	83
A.2	Code des cultures . . . . .	85
A.3	Nomenclature de la base CLC . . . . .	85
A.4	classe RGA-RPG . . . . .	86
A.5	Reclass. de la base CLC selon le taux de couverture du sol. . . . .	87



# Liste des figures

1.1	Aléa MESALES 2002 . . . . .	3
1.2	Organigramme MESALES . . . . .	3
1.3	Aléa SYRAH . . . . .	4
1.4	Organigramme de MESALES-2014 pour l'application en Loire-Bretagne . . . . .	7
2.1	Taux de couverture du sol - schéma . . . . .	12
2.2	Calendrier agricole . . . . .	13
2.3	Taux de couverture du sol (1) . . . . .	17
2.4	Taux de couverture du sol (2) . . . . .	18
2.5	Pédologie - érodibilité et battance/ruissellement . . . . .	23
2.6	Distribution d'éléments grossiers . . . . .	24
2.7	Facteurs pédologiques . . . . .	25
2.8	Facteur pente - schéma . . . . .	28
2.9	Facteur pente . . . . .	28
2.10	Maillage SAFRAN. . . . .	30
2.11	Facteur climatique - schéma . . . . .	31
2.12	Nombre de jours de pluie et cumul - total . . . . .	32
2.13	Nombre de jours de pluie et cumul - saison . . . . .	33
2.14	Facteur climatique(1) . . . . .	34
2.15	Facteur climatique (2) . . . . .	35
2.16	Arbre de décision du modèle MESALES . . . . .	38
2.17	Arbre de décision du modèle MESALES-2014 (partie 1) . . . . .	39
2.18	Arbre de décision du modèle MESALES-2014 (partie 2) . . . . .	40
3.1	Cartographie pour la validation . . . . .	45
3.2	Cartographie des réunions . . . . .	46
4.1	Aléa en trois classes, 1 km x 1 km (1) . . . . .	65
4.2	Aléa en trois classes, 1 km x 1 km (2) . . . . .	66
4.3	Aléa annuel, bv . . . . .	70
4.4	Aléa en quatre classes, bv(1) . . . . .	71
4.5	Aléa en quatre classes, bv(2) . . . . .	72
4.6	Aléa SYRAH . . . . .	74
4.7	Aléa annuel MESALES-2014 en trois classes. . . . .	74



# Table des matières

<b>Sommaire</b>	<b>iii</b>
<b>1 Contexte</b>	<b>1</b>
1.1 L'érosion du sol et ses conséquences	1
1.2 Cartographie existante et ses limites	1
1.3 Proposition d'une nouvelle cartographie à l'échelle du bassin Loire-Bretagne	5
1.4 Évaluation par expertise locale	6
<b>2 Modèle MESALES-2014</b>	<b>9</b>
2.1 Occupation du sol	9
2.1.1 Objectifs	9
2.1.2 Base de données disponibles	9
2.1.3 Méthodologie	11
Première étape : attribution du taux de couverture du sol par an et par saison pour les terres arables	12
Deuxième étape : intégration par saison des trois années de taux de couverture du sol	15
Troisième étape : intégration spatiale des données de la base Corine Land Cover	16
2.2 Pédologie	20
2.2.1 Données disponibles	20
2.2.2 Règles de pédotransfert pour l'érodibilité, la battance et le ruissellement	21
2.3 Topographie	27
Pente	27
Aire drainée	27
2.4 Climat	30
2.4.1 Données disponibles	30
2.4.2 Calcul d'un indice d'érosivité	31
2.5 Arbre de décision	37
<b>3 Évaluation</b>	<b>43</b>
3.1 Préparation des réunions d'expertise	43
3.1.1 Atlas pour l'évaluation	43
3.1.2 Questionnaires et conduite des entretiens	44
3.2 Synthèse des réunions	45
3.2.1 Identification des phénomènes érosifs observés	51
3.2.1.1 Dépôts en bas de parcelle, rigoles et ravines	51
3.2.1.2 Coulées boueuses	51
3.2.1.3 Autres phénomènes d'érosion	51
3.2.2 Caractérisation et hiérarchisation des facteurs érosifs	51
3.2.2.1 Occupation du sol	52
A. Cultures les plus sensibles à l'érosion	52
B. Nomenclature de l'occupation du sol	52
1. Cultures Intercalaires	53
2. Semences	53

3. Pâturages et prairies . . . . .	53
4. Forêt . . . . .	54
5. Espaces naturels dégradés . . . . .	54
6. Zone urbanisée . . . . .	55
C. Aléas agronomique, climatique et économique . . . . .	55
D. Taux de couverture du sol . . . . .	55
E. Modes de gestion du sol . . . . .	56
3.2.2.2 Pédologie . . . . .	56
Propriétés des sols . . . . .	56
Résolution spatiale . . . . .	57
3.2.2.3 Topographie . . . . .	57
Pertinence des indices topographiques . . . . .	57
3.2.2.4 Climat . . . . .	57
Agressivité des événements pluvieux . . . . .	57
3.2.2.5 Combinaison de facteurs . . . . .	58
3.2.3 Conséquences de l'érosion . . . . .	59
3.2.3.1 Impacts environnementaux . . . . .	59
3.2.3.2 Impacts agronomiques . . . . .	59
3.2.4 Autres commentaires . . . . .	59
3.2.4.1 Aléa . . . . .	60
3.2.4.2 Échelle temporelle . . . . .	60
3.2.4.3 Échelle spatiale . . . . .	60
3.2.4.4 Intégration par BV . . . . .	60
Cartographie . . . . .	60
Proposition d'évaluation des résultats . . . . .	60
3.2.4.5 Éléments linéaires et érosion des berges . . . . .	61
<b>4 Résultats</b>	<b>63</b>
4.1 Intégration . . . . .	63
4.1.1 Intégration annuelle . . . . .	63
4.1.2 Reclassification et rééchantillonnage spatial au pixel . . . . .	63
4.1.3 Intégration spatiale aux bassins versants de masse d'eau (BVME) . . . . .	67
Unité Spatiale d'Intégration . . . . .	67
Hiérarchisation . . . . .	67
4.2 Comparaison avec la cartographie précédente . . . . .	73
<b>5 Conclusions</b>	<b>75</b>
<b>A Occupation du sol</b>	<b>83</b>
<b>B Plaquette</b>	<b>91</b>
<b>Références bibliographiques</b>	<b>93</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>93</b>
<b>Table des figures</b>	<b>95</b>
<b>Table des matières</b>	<b>97</b>