

# CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA ÉROSION DES SOLS SUR LE BASSIN VERSANT DE LA VILAINE

Fleuret Sarah

Eaux & Vilaine  
Cellule Planification

2023-2024

## Table des matières

INTRODUCTION .....	2
2. MATÉRIELS & MÉTHODES.....	4
2.1 Modèle utilisé .....	4
2.2 Modélisation des facteurs d'entrée .....	6
2.2.A Occupation du sol .....	6
2.2.B Méthodologie pour le facteur pédologie.....	14
2.2.C Méthodologie du facteur topographique .....	17
2.2.D Méthodologie du facteur climatique.....	18
2.3 Cartes en sortie.....	21
2.4 Agrégation de la carte aléa érosion.....	21
2.4.A Découpage de la carte .....	21
2.4.B Méthode d'agrégation .....	23
3. RÉSULTATS .....	25
3.1 Carte de sensibilité intrinsèque des sols .....	25
3.2 Carte de sensibilité des sols .....	26
3.3 Carte Aléa érosion des sols.....	27
3.4 Réagrégation de la carte aléa érosion des sols.....	29
3. DISCUSSIONS .....	30
3.1 Limites de la carte .....	30
3.2 Perspectives .....	31
4. CONCLUSION .....	31
5. BIBLIOGRAPHIE.....	32
6. Table des figures .....	32

# INTRODUCTION

L'érosion hydrique des sols est un processus de pertes en terres naturelles liées à la pluviométrie. C'est un phénomène qui se distingue en trois phases : le détachement des particules de sol sous l'effet de l'eau, son transport (par ruissellement) et son dépôt, appelé sédimentation.

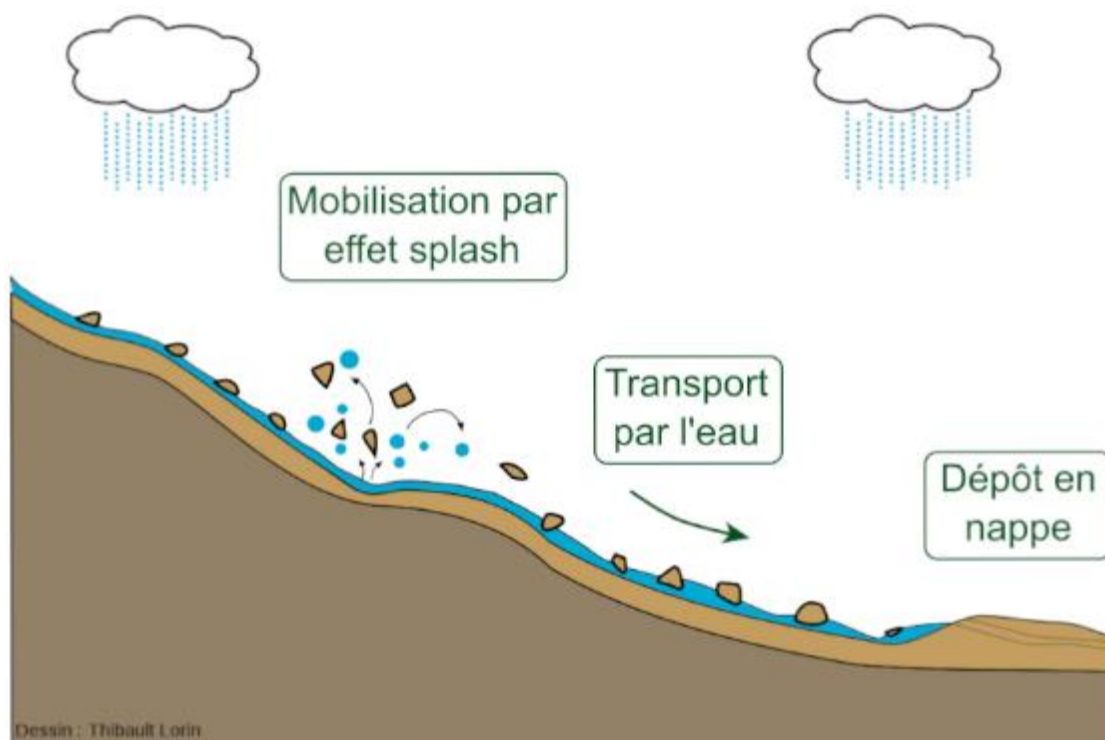


Figure 1 - Schéma synthétisant les étapes du processus de l'érosion hydrique  
Source : agro-transfert-rt.org ; Thibault Lorrain

Ce phénomène d'érosion est à l'origine de nombreuses conséquences sur les territoires concernés : pertes de terres agricole, transferts des polluants par ruissellements, rejets de terre dans les cours d'eau, coulées de boue, dégradation des infrastructures urbaine... Les enjeux sont autant écologiques qu'économiques.

L'érosion a plus eu tendance à s'accroître sous l'effet de la modification des modes de productions agricoles. Les remembrements des parcelles, le retrait des linéaires de talus ou de haies, sont autant de causes aggravantes du phénomène.

Quantifier et cartographier l'érosion des sols devient alors nécessaire, afin de délimiter des zones à risque sur lesquelles mettre en place des mesures spécifiques de réduction et de protection. Le bassin versant de la Vilaine est un territoire vaste de 11 000km<sup>2</sup>. Il se trouve à cheval sur 2 régions (Bretagne à 80% ; Pays de la Loire à 20%) et six départements (Côtes d'Armor, Ille-et-Vilaine, Loire-Atlantique, Maine-et-Loire, Mayenne, Morbihan).



Figure 2 - Localisation et délimitation du bassin versant de la Vilaine  
Source : Eaux & Vilaine

Au vu de la situation géographique du bassin versant de la Vilaine, l'état de l'art des cartes érosion existante est très hétérogène sur son territoire, que ce soit en termes de recouvrement de son territoire, de méthodes utilisées ou de données disponibles. Des cartes MESALES existent à l'échelle de la France [1] ; la carte érosion du bassin Loire-Bretagne réalisée en 2013 par l'Agence de l'eau Loire-Bretagne est utilisée dans le cadre du SDAGE ; une carte MESALES de la Bretagne est réalisée en 2017 par Lionel Berthier puis une nouvelle par Sébastien Vincent voit le jour en 2019 [2], mais ces dernières ne couvrent alors pas la partie Pays de la Loire du bassin versant.

L'objectif est d'alors avoir une carte à jour avec les dernières données en date, réalisée avec une méthode homogène sur tout le bassin versant. Au vu de l'échelle d'études, une carte pertinente à l'utilisation parcellaire n'est pas réalisable. La carte aléa érosion est ainsi destinée à un public de décideurs et doit être capable de délimiter des zones d'aléa érosif fort à très fort, sur lesquelles des préconisations pourront être prises selon les dispositions du SAGE Vilaine.

Le travail a été encadré par un comité technique constitué de membres des diverses unités d'Eaux&Vilaine, des représentants des Syndicats mixtes des bassins versants de Chère Don-Isac et du grand bassin de l'Oust, des Chambres d'Agriculture de Bretagne & Pays de la Loire, de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, des Conseils Régionaux, de la DDTM 35 [...] qui ont ainsi pu participer aux discussions et à l'élaboration de la carte. Le travail s'est également fait sous l'expertise scientifique de l'Institut Agro Renne-Angers représenté par Blandine Lemerancier et Christophe Ducommun.

## 2. MATÉRIELS & MÉTHODES

### 2.1 Modèle utilisé

Afin de réaliser la carte, nous avons choisi d'utiliser le modèle MESALES (Modèle d'Evaluation Spatiale de l'Aléa Erosion des Sols) développé par l'INRA en 1998 et qui a depuis été utilisé, repris, actualisé et amélioré à de multiples reprises sur une diversité de territoires et d'échelles, de la France entière au département en passant par de petits bassins versants. [2] C'est également le modèle qui a été utilisé lors des précédentes études sur la Bretagne et le bassin Loire-Bretagne, ce qui rend aisé la comparaison des résultats.

C'est un modèle qui prend en entrée quatre facteurs bien documentés sur l'ensemble du territoire, faciles d'obtention et simples à s'approprier et manipuler. Ces quatre grands facteurs d'entrée sont : l'occupation du sol, la topographie, la pédologie (battance et érodibilité des sols) et l'aléa climatique. De plus, il permet d'agréger des critères qualitatifs comme quantitatifs. Sa sortie sous forme d'un aléa érosif qualitatif la rend simple à comprendre et à appréhender pour tous types de publics et il est réputé comme étant un modèle robuste qui s'adapte bien aux évolutions des données d'entrée.

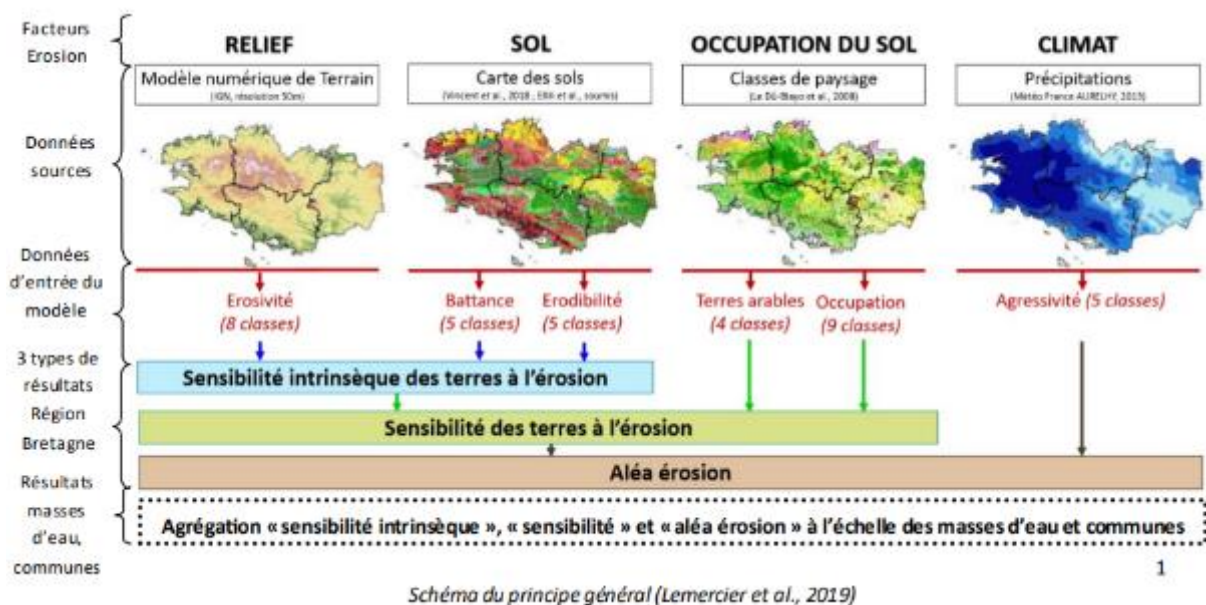


Figure 3 - Schéma du principe général du modèle MESALES

MESALES est un modèle expert qui se base sur un arbre de décision. Cela permet le croisement hiérarchique des paramètres d'entrée qui aboutissent à un résultat final sous forme de « note de classification d'aléa ». Ces classes, règles et autres combinaisons menant aux résultats sont déterminés à l'avis des experts ayant créé ou remodelé le modèle au fil de ses utilisations.

Chacun des facteurs d'entrée du modèle est associé à une note précise, qui se retrouve dans l'arbre de décision. Le principe du modèle est alors de naviguer d'une note à l'autre,

d'un facteur à l'autre, jusqu'à la classe d'aléa érosif finale, comme on peut le voir sur l'exemple ci-dessous :

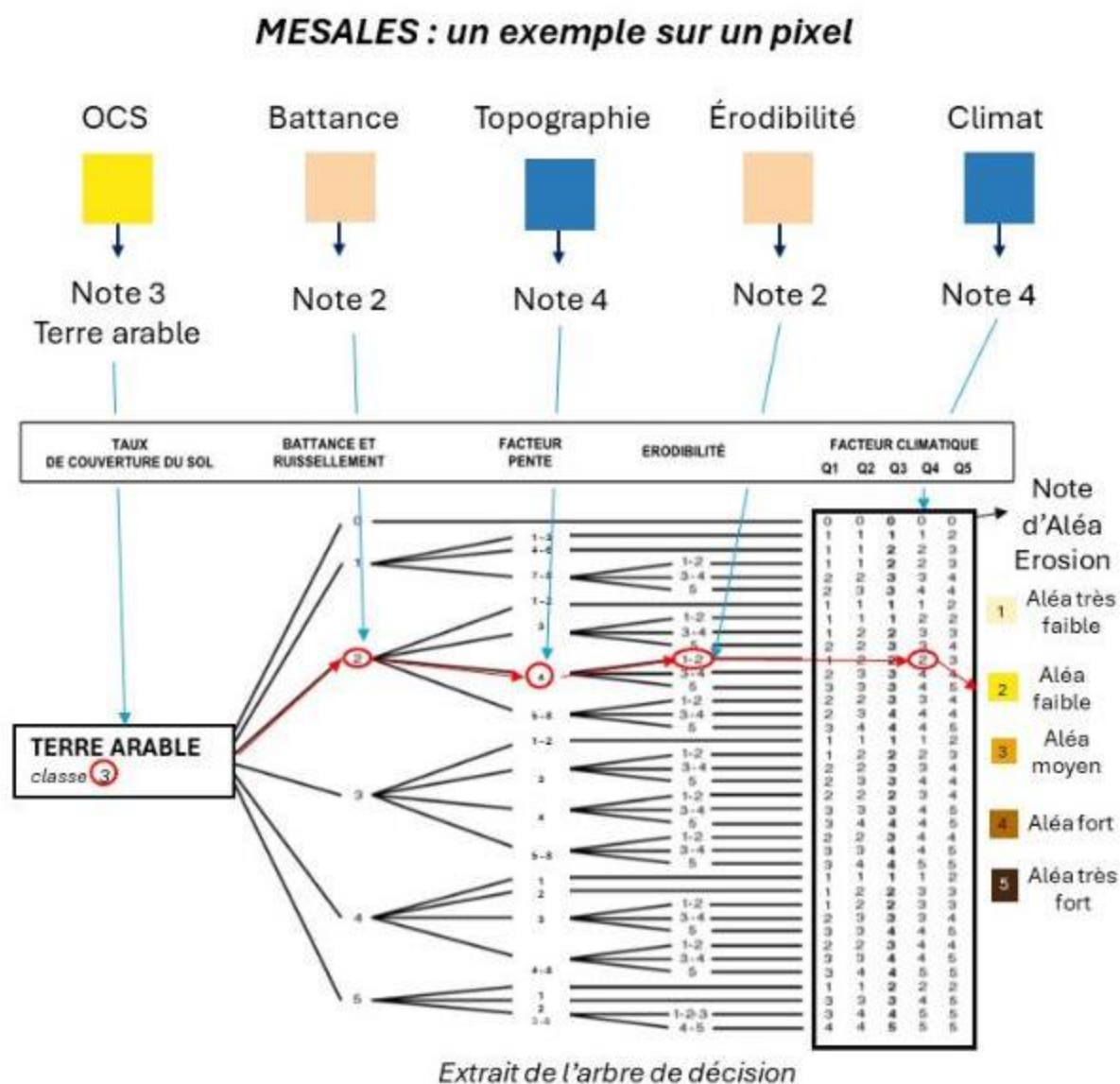


Figure 4 - Schéma de fonctionnement de MESALES

Tableau 1 - Avantages & Inconvénients du modèle MESALES

Avantages du modèle MESALES	Inconvénients du modèle MESALES
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Caractérise un aléa en prenant en compte la sensibilité propre d'un territoire</li> <li>+ Facilité d'explication et de compréhension des résultats</li> <li>+ Agrégation de critères simples qualitatifs comme quantitatifs</li> <li>+ S'adapte très bien à l'échelle de type bassin versant, département, région, pays pour mettre en évidence des problématiques locales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ne donne pas une estimation quantifiée de terre érodée donnée par d'autres modèles quantitatifs</li> <li>- Ajouter des critères alourdit le système de classification et nécessite une refonte de l'arbre de décision dans son ensemble</li> <li>- Modèle à dires d'experts, dont l'interprétation peut varier selon les experts concertés</li> </ul>



+ Simplicité des données d'entrées avec possibilité de les affiner sans toucher à la structure du modèle	- Ne prend pas en compte les aménagements du paysage (haies, talus, entrées de champs etc)
--	--

## 2.2 Modélisation des facteurs d'entrée

### 2.2.A Occupation du sol

#### Données utilisées

Afin de créer la carte OCS la plus complète possible, des données de sources très diverses ont été utilisées :

- Registre Parcellaire Graphique (RPG) sur 3 ans, de 2019 à 2021, de l'IGN. Il s'agit des données culturales des parcelles agricoles déclarées à la PAC.

- RPG-complété de l'Observatoire du Développement Rural de Toulouse , des années 2020 (Pays de la Loire) et 2021 (Bretagne). Cela correspond aux parcelles agricoles hors-PAC, qui concernent 5% du territoire.

- BD OSO THEIA (2020)

- BD Topo 2023, 2019, IGN

- BD Forêt v2, IGN

- Infos OSM des carrières

#### Méthodologie de classification dans le modèle MESALES

MESALES, dans son facteur d'entrée Occupation du Sol tel que décrit dans sa version du Projet Verseau de 2015 [3], prend en compte 9 classes d'OCS :

*Tableau 2 - Classification MESALES de l'Occupation des Sols*

Note MESALES OCS	Libellé
1	Sol nu 3 / 3 ans
2	Sol nu 2 / 3 ans
3	Sol nu 1 / 3 ans ou Terres arables
5	Sol semi-couvert ou couvert 3 / 3 ans
7	Prairie, pâturage, surface en herbe
8	Forêt
11	Zone urbaine
44	Surface minérale
55	Étendue d'eau

Tout ce qui concerne, dans les différentes bases de données, les surfaces urbaines, minérales ou en eau ont été attribuées aux libellés correspondants dans MESALES. Tout ce qui concerne les données forestières s'est vu attribuer la note de 8, à l'exception d'une formation herbacée présentant très peu de ligneux dans la BD Forêt (code LA6) qui s'est vu attribuer la note de 7.

Le cas particulier des surfaces agricoles, qui proviennent de sources très différentes, a été géré différemment. Afin d'éviter une simplification générale des surfaces agricoles en une seule classe « Terres arables » réductrice comme c'était le cas dans les versions antérieures du modèle, nous avons choisi de reprendre la méthodologie de la Cartographie de l'aléa érosif du bassin Loire-Bretagne [3] qui propose de prendre en compte le couvert du sol déterminé par les rotations agricoles sur 3 ans. Cela permettra de différencier certains sols nus des sols toujours partiellement couverts par de bonnes pratiques culturales et accentuer le risque érosif sur les monocultures, notamment.

Les cultures annuelles ayant un taux de couverture du sol qui évolue au cours de l'année, la protection du sol et sa sensibilité à l'érosion n'est alors pas la même d'une saison à l'autre. Une note de qualité de couvert végétal, de 1 (du semis au développement végétal significatif), 2 (période de croissance de la plante) ou 3 (jusqu'à la récolte) est alors affecté à de grandes catégories de cultures du RPG pour chaque saison. Il est pris en compte, dans cette notation, la présence d'éventuels résidus culturaux (sol considéré couvert) ainsi que la présence de cultures intermédiaires. Dans ce dernier cas, le sol a été considéré semi-couvert au vu du grand nombre de gestion des systèmes de cultures intermédiaires. La note de 7 est quant à elle attribuée à tout ce qui est du ressort des prairies, surfaces en herbe et fourragères. [3]

En cas particuliers, les cultures permanentes de type vergers, vignes ou arboricultures sont considérés comme des « sols nus », afin de ne pas négliger le risque en cas d'absence d'enherbement inter-rangs.

Tableau 3 - Extrait de la classification du taux de couverture par saison  
Source : Projet Verseau

Libellé	hiver	print.	été	aut.
Blé tendre : hiver	1	2	3	1
Blé tendre : printemps	2	1	3	2
Mais grain et ensilage	2	1	3	3
Orge : hiver	1	2	3	1
Orge : printemps	2	1	3	2
Autres Céréales : hiver	2	2	3	1
Autres Céréales : printemps	1	1	3	2
Colza	1	2	3	1
Tournesol	2	1	3	3
Soja	2	1	3	3
Lin oléagineux	2	2	3	1
Pois protéagineux	1	2	2	1
Fève, féverole	1	2	3	1
Lupin doux	1	2	2	1
Plantes à fibres (chanvre)	1	2	3	1
Semences				
Gel	3	3	3	3
Gel industriel	3	3	3	3
Autres gels				
Légumes secs (haricot)	1	1	2	2
Fourrage	7	7	7	7
Estives landes	7	7	7	7
Prairies permanentes	7	7	7	7
Prairies temporaires	7	7	7	7
Vergers	1	1	1	1
Vignes	1	1	1	1
Fruits à coque	1	1	1	1
Betterave industrielle	2	1	3	2

À l'aide du logiciel RPG-Explorer, nous avons pu réaliser les successions culturales et retrouver les grandes classes de rotations sur les 3 années de données du RPG. On obtient alors, pour chaque saison et sur trois années, un grand tableau de données du taux de couverture du sol par saisons sur tout le RPG.

Exemple sur une parcelle 2019 – 2020 – 2021 :

Blé tendre hiver – Orge Hiver – Maïs

2019 :                      2020 :                      2021 :

Hiver = 1                  Hiver = 1                  Hiver = 2

Printemps = 2    Printemps = 2    Printemps = 1

Été = 3                  Été = 3                  Été = 3

Automne = 1    Automne = 1    Automne = 3

Ensuite, ces codes sur trois ans sont concaténés pour obtenir un seul tableau par saison. Le code à trois chiffre ainsi obtenu est reclassé selon le tableau de combinaison ci-dessous, qui nous donne la classe d'OCS de la parcelle dans MESALES :



Tableau 4 - Code issu de la classification du code à 3 chiffres, obtenu pour chaque saison, suite à la combinaison des 3 années du RPG (2019 - 2020 - 2021). COUV = équivalent MESALES (cf. tableau 2) ; comb = combinaison des 3 codes couverts

COUV. 1	2	2	3	3	5	5	5	5	7
Comb. 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

*Exemple sur une parcelle 2019 – 2020 – 2021*

Blé tendre hiver – Orge hiver – Maïs

COMB	Hiver = 112	Printemps = 221	Eté = 333	Automne = 113
COUV	Hiver = 2	Printemps = 3	Eté = 5	Automne = 2

Néanmoins, cette méthodologie n'est pas applicable avec le reste des données agricoles. Le RPG-complété n'est pas compatible avec RPG-Explorer ; nous avons dû nous résoudre à abandonner la classification selon les successions culturales. Le détail des cultures n'est également pas connu : nous ne possédons que le groupe du RPG. Nous avons alors considéré les cultures annuelles comme l'ancienne classification « Terres Arables », qui correspond à la nouvelle classification « Sol nu 1 / 3 ans ». Les autres classes (arboriculture, surfaces en herbe, légumes-fleurs, etc.) sont classées de la même façon que le RPG classique afin de rester cohérent : sol considéré nu pour l'arboriculture, etc.

Tableau 5 - Tableau de conversion des groupes de culture du RPG complété en classification MESALES

gc_rpg	libelle_gc	note_mesales
1	CEREALES	3
2	CEREALES	3
3	CEREALES	3
4	CEREALES	3
5	OLEAGINEUX	3
6	OLEAGINEUX	3
7	OLEAGINEUX	3
8	PROTEAGINEUX	3
9	LIN ET CHANVRE	3
10	SEMENCES	3
11	SURFACES GELEES	3
12	SURFACE GELEES	3
13	SURFACES GELEES	3
14	RIZ	3
15	LEGUMINEUSES A GRAINS	3
16	FOURRAGE	7
17	SURFACE EN HERBE	7
18	SURFACE EN HERBE	7
19	ARBORICULTURE	7
20	ARBORICULTURE	1
21	ARBORICULTURE	1
22	FRUITS A COQUES	1
23	ARBORICULTURE	1
24	LEGUMES FLEURS	5
25	LEGUMES FLEURS	5
26	CANNE A SUCRE	5
27	ARBORICULTURE	1
28	DIVERS	3

La dernière source de données agricole est l'OSO Theia, qui a été utilisée en renfort pour combler tout ce que les autres sources de données ont laissé vide. Le même problème de successions culturelles se pose. La méthode utilisée est alors la même que pour le RPG-Complété, appliquée aux classes particulières de l'OSO Theia. Étant une couche d'OCS entière, elle comporte également des renseignements sur les forêts, les surfaces urbaines, en eaux, etc.

Tableau 6 - tableau de conversion entre la classe OSO-Theia et la classification MESALES

classe	libelle_classe_theia	note_mesales
1	Urbain dense	11
2	Urbain diffus	11
3	Zones industrielles et commerciales	11
4	Routes	11
5	Oléagineux hiver	3
6	Céréales à paille	3
7	Protéagineux de printemps	3
8	Soja	3
9	Tournesol	3
10	Maïs	3
11	Riz	3
12	Tubercules, racines	3
13	Prairies	7
14	Vergers	1
15	Vignes	1
16	Forêts de feuillus	8
17	Forêts de conifères	8
18	Pelouses	7
19	Landes	7
20	Surfaces minérales	44
21	Plages et dunes	44
22	Glaciers et neiges éternelles	55
23	Eau	55
24	Colza	3

Les résultats se composent alors de quatre cartes rasters d'occupation des sols selon MESALES, une par saison, au format Raster de 25m. Si les cartes Hiver, Printemps et Automne se ressemblent beaucoup, ce n'est pas le cas de celle de l'été, où la dominance du couvert végétal est remarquable.

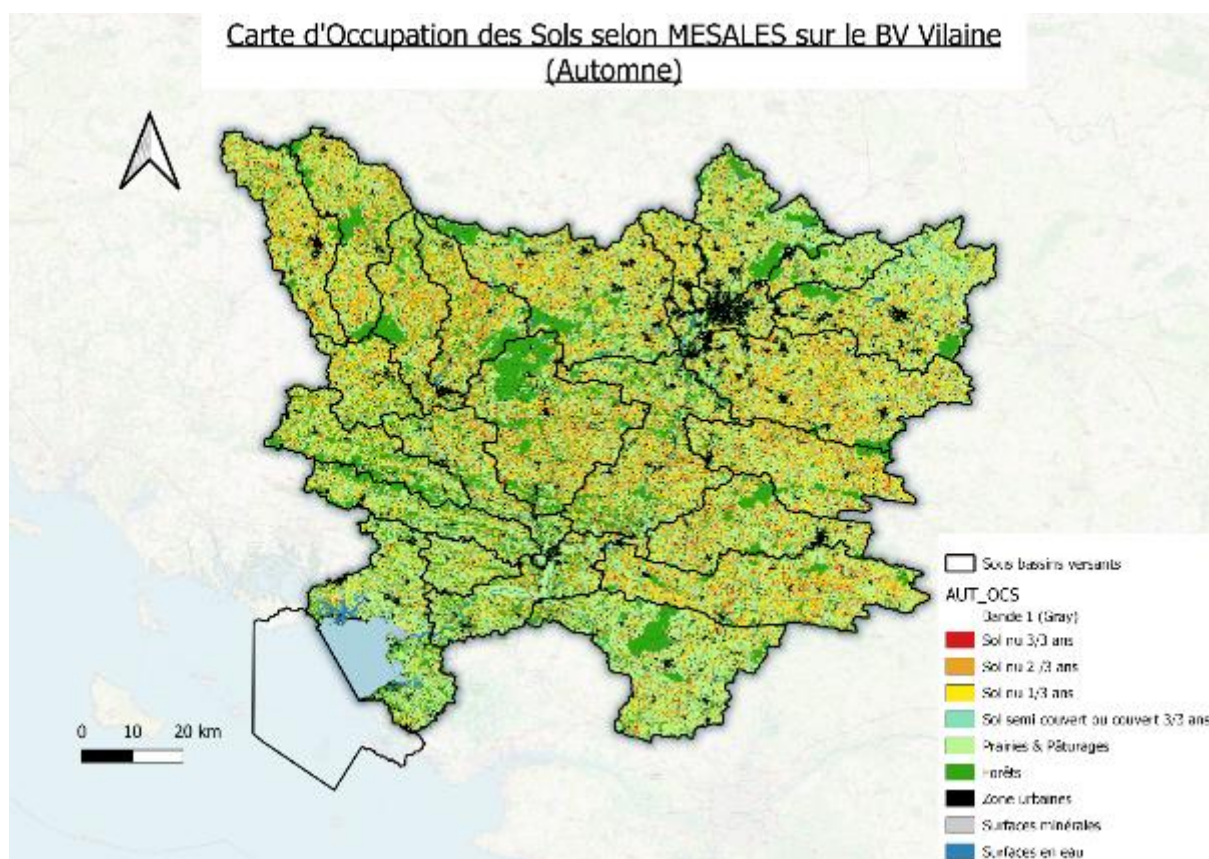


Figure 5 - Carte d'OCS de l'automne

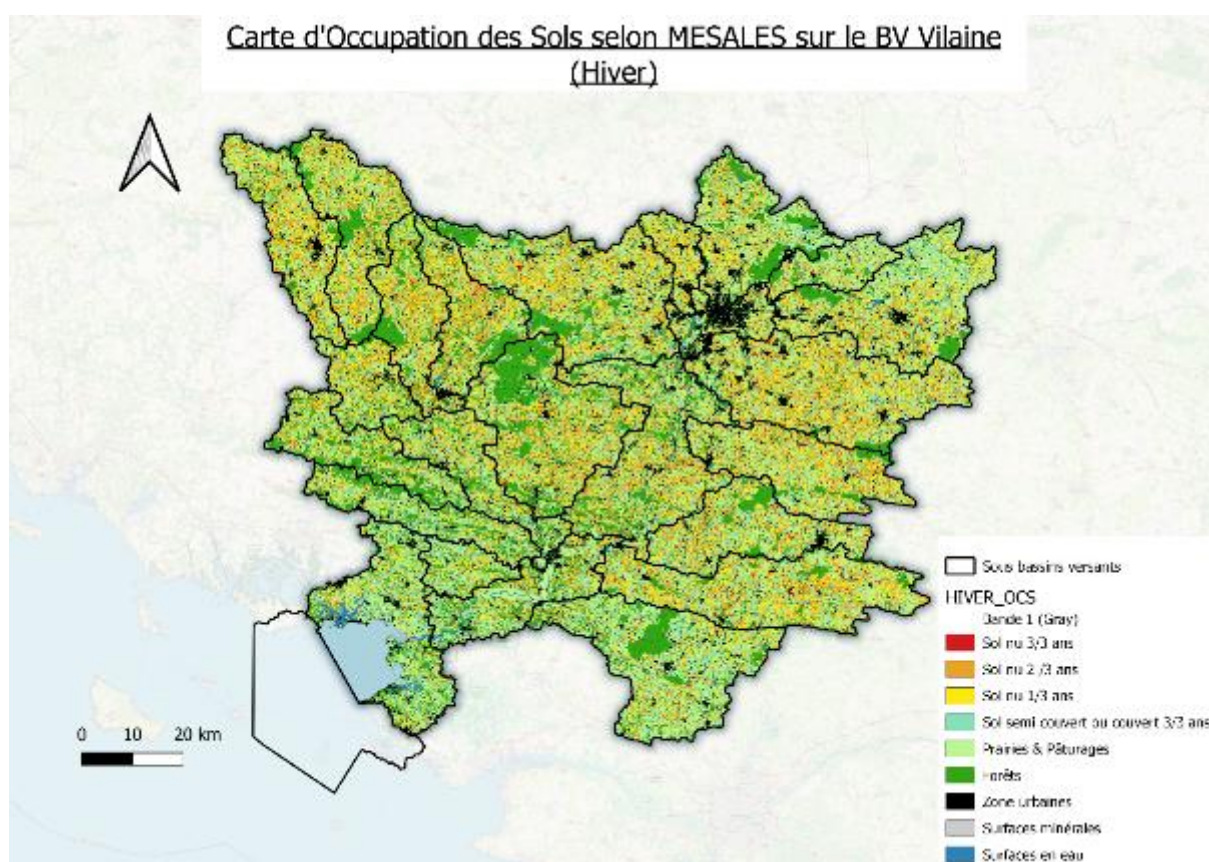


Figure 6 - Carte OCS de l'hiver



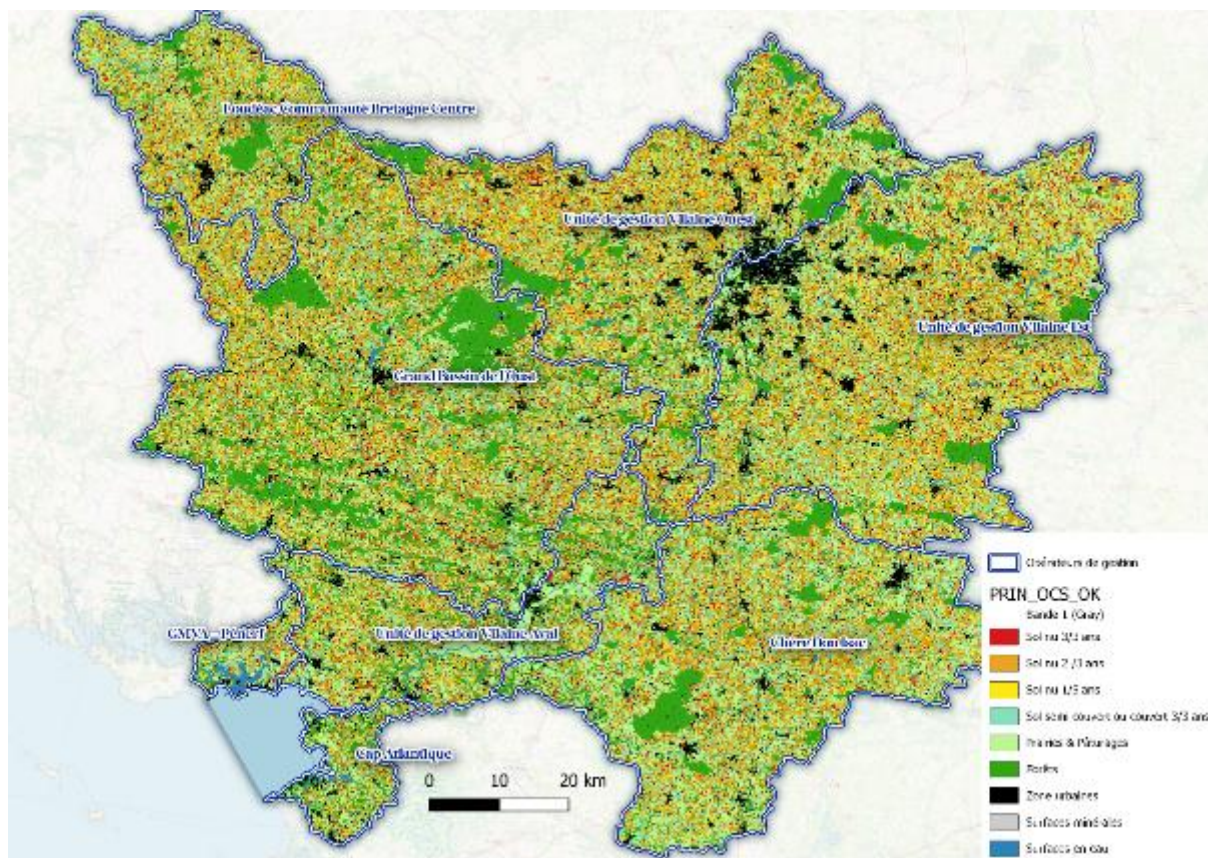


Figure 7 - Carte OCS du printemps

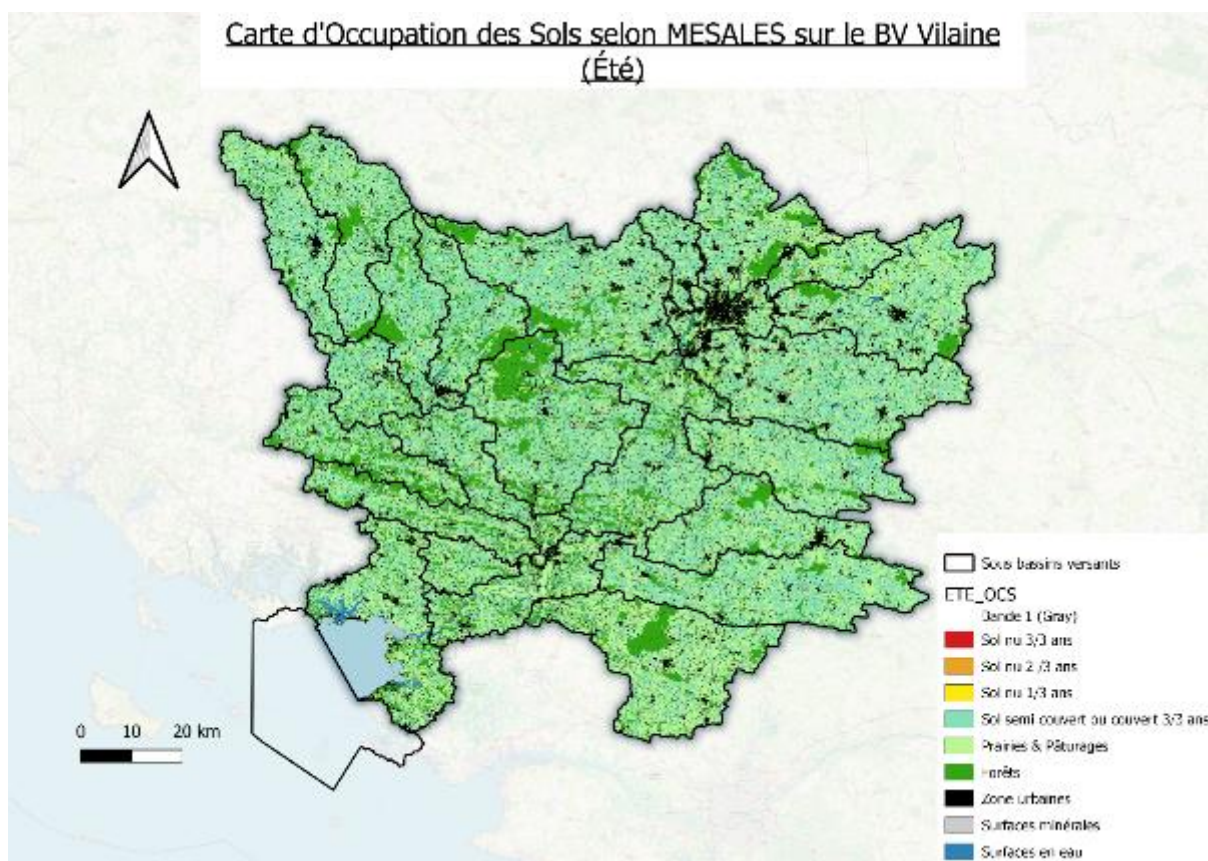


Figure 8 - Carte OCS de l'été

Il est bon de noter que dans toute cette catégorisation d'occupation des sols, nous n'avons pas pris en compte le linéaire bocager. S'il permet en effet de limiter le ruissellement et certaines conséquences de l'érosion, il ne va pas influencer en lui-même sur le risque érosif au sein d'une parcelle.

## 2.2.B Méthodologie pour le facteur pédologie

### *- Données utilisées*

Les données utilisées dans le cadre de l'étude du facteur pédologie sont les Référentiels Régionaux Pédologiques (RRP) de Bretagne et des Pays de la Loire au 1 / 250 000. Blandine Lemerrier nous a notamment fournis les données rasters des Sables, Argiles, Limons, Eléments Grossiers et Carbone Organique tirés du RRP de Bretagne. En ce qui concerne les Pays de la Loire, l'étude s'est faite à partir des données contenues dans les fichiers du RRP. Une harmonisation du RRP afin de notamment assurer la continuité aux frontières des deux RRP nous a été fournis par le service InfoSols de l'INRAE d'Orléans.

L'échelle au 1 / 250 000 permet ainsi d'appliquer les diverses règles de pédo-transfert au modèle MESALES ainsi que d'obtenir une résolution proche du pixel de 50m.

### *- Méthodologie*

Les facteurs pédologiques d'entrée dans MESALES sont la battance et l'érodibilité. La battance est la propension du sol à former une croûte de surface peu perméable qui aggrave les phénomènes de ruissellement et limite l'infiltration de l'eau. L'érodibilité représente la sensibilité du sol à la dégradation par l'eau et au départ de terre suite à la désagrégation des agrégats. **À partir des triangles de l'Aisne, nous avons pu déterminer les notes de battance et d'érodibilité sur le bassin versant de la Vilaine :**

- à partir des données texturales rasters fournies par Blandine en ce qui concerne la Bretagne

- à partir des données texturales de chaque UTS de surface présentes dans le RRP pour la partie Pays de la Loire.



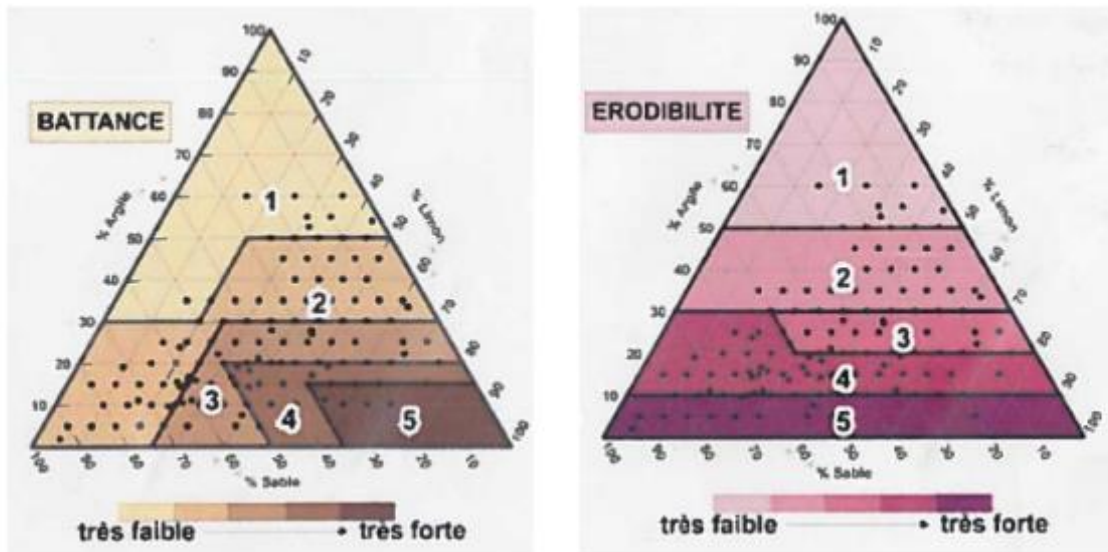


Figure 9 - Diagrammes ternaires de battance et d'érodibilité en fonction des textures  
Source : ENSAT

Ces notes de battance et d'érodibilité ont ensuite été ajustées selon des règles de pédo-transfert en lien avec la teneur en matière organique des sols ainsi que celle en éléments grossiers [4]. Selon ces teneurs en éléments grossiers ou en matière organique, les notes de battance et d'érodibilité sont aggravées ou allégées. Les notes s'échelonnent de 1 (très faible) à 5 (très forte).

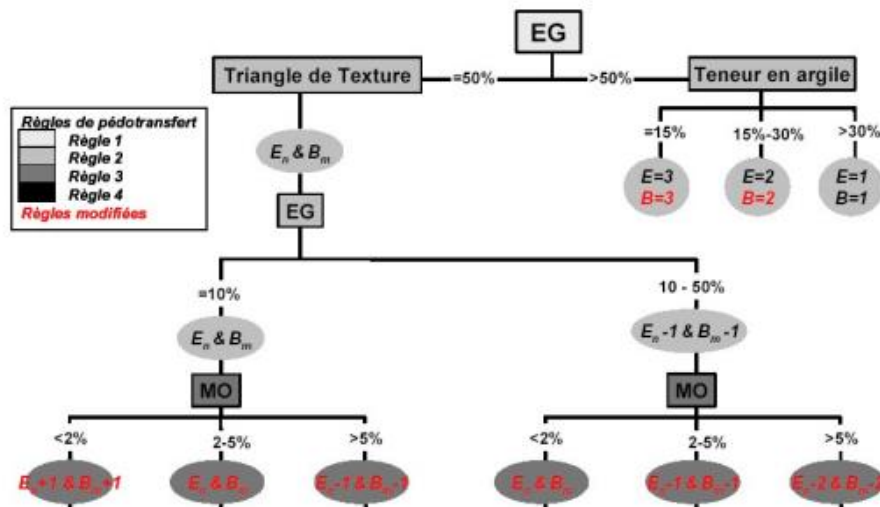


Figure 10 - Organigramme des règles de pédotransfert pour estimer les facteurs de battance et d'érodibilité (EG% = abondance en éléments grossiers ; MO : abondance en matière organique ; E : érodibilité ; B : battance)

On obtient alors deux cartes de résultats, une pour la battance et une pour l'érodibilité.

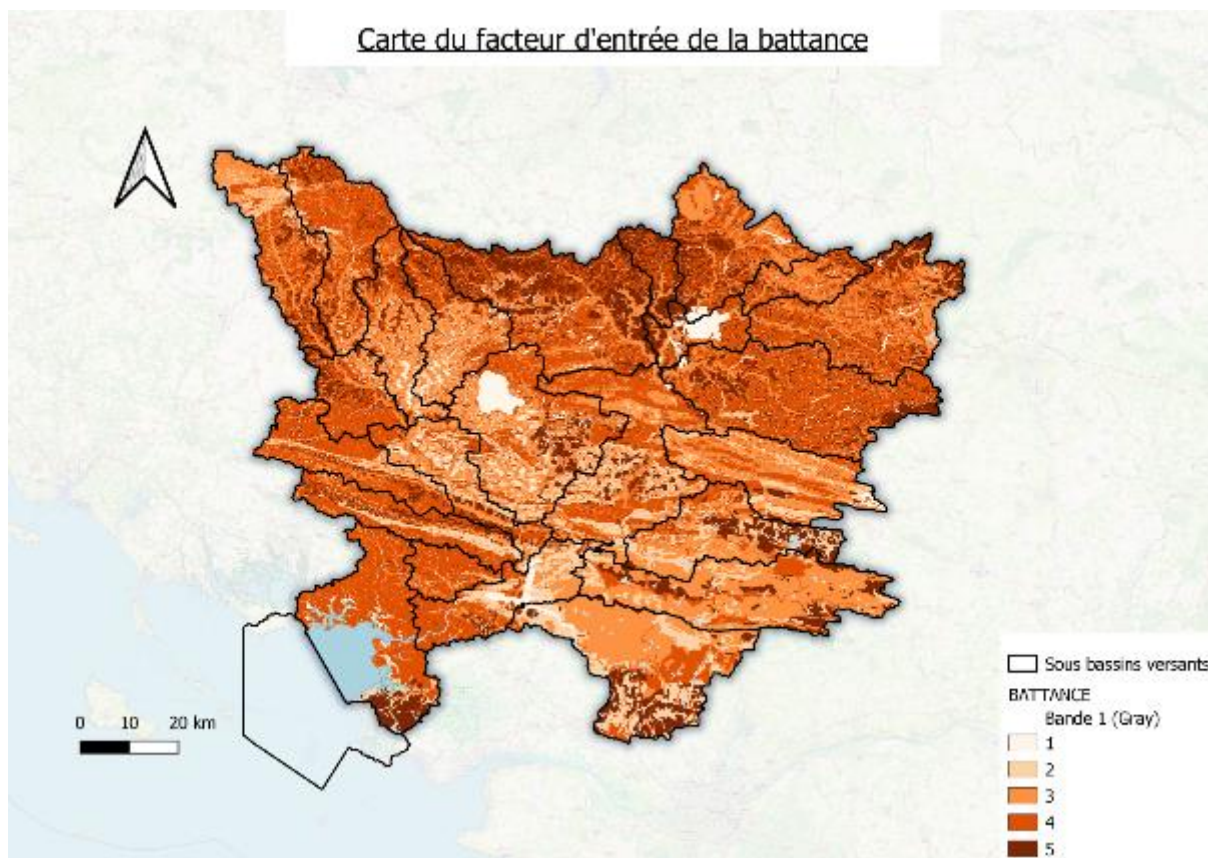


Figure 11 - Carte de la battance

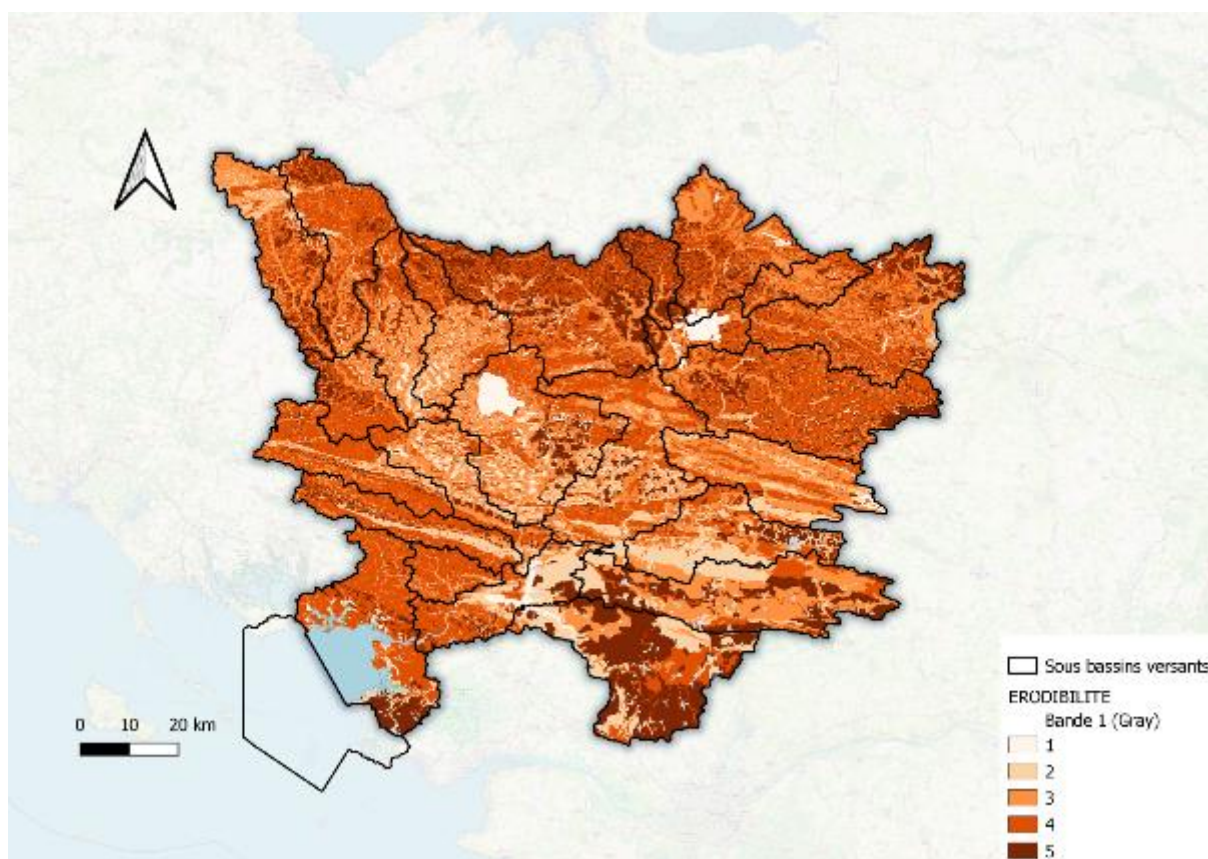


Figure 12 - Carte de l'érodibilité

## 2.2.C Méthodologie du facteur topographique

### - Données

C'est le Modèle Numérique de Terrain (MNT) de l'IGN au 25m qui a été utilisé.

### - Méthodologie du facteur d'entrée topographique

C'est encore une fois la méthodologie du Projet Verseau [3] qui est reprise en ce qui concerne la préparation du facteur topographique.

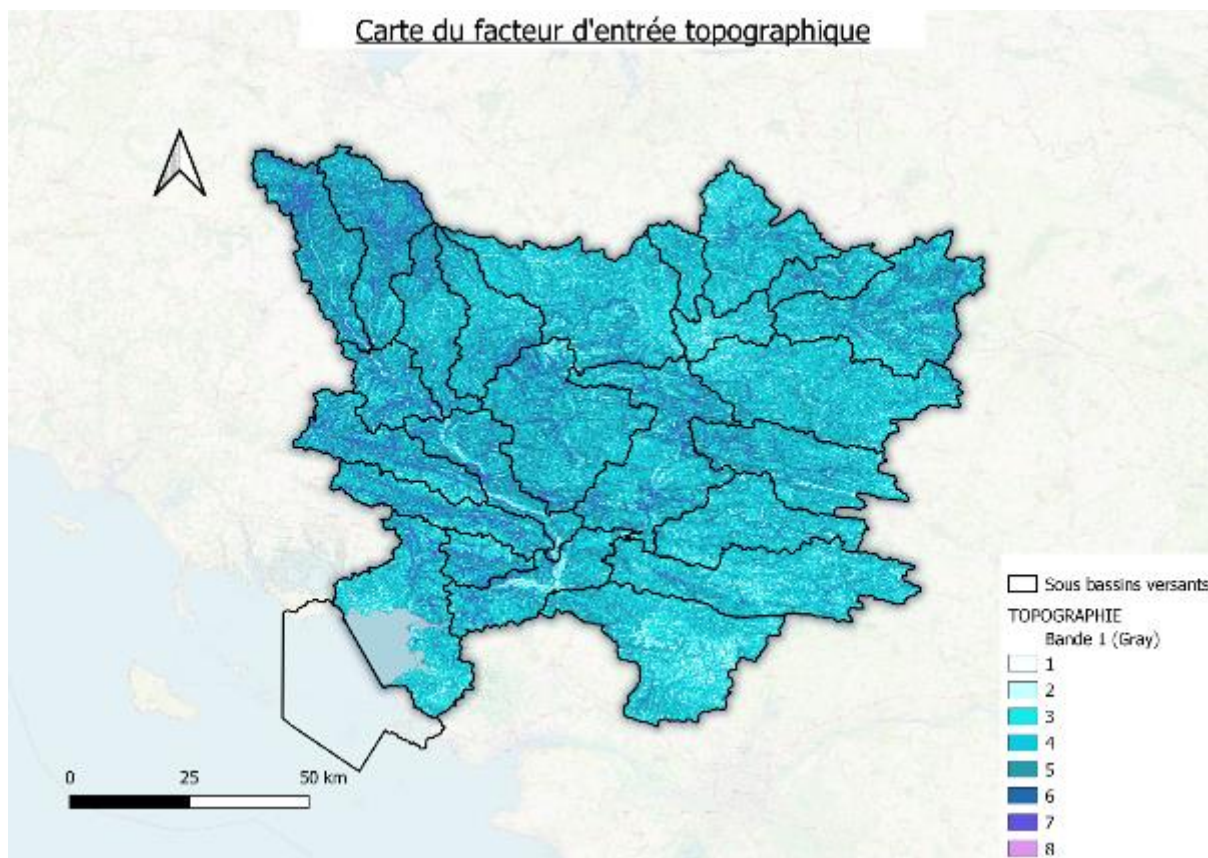
Ce qui influe sur la sensibilité dépend du ruissellement des eaux de surface, qui sont à l'origine du détachement et du transport des particules de sol. La longueur et le degré de la pente influent sur la vitesse de ruissellement et donc l'érosion des sols. L'aire drainée est un autre paramètre important à prendre en compte et correspond à l'importance de la surface d'écoulement d'eau reçue par un pixel en provenance des pixels à l'amont. Ce paramètre représente la quantité du ruissellement à un endroit donné. Ainsi, plus un pixel a une pente forte et plus il reçoit de ruissellement de l'amont, plus son érosivité est forte.

Les pentes en pourcentage sont extraites du MNT au 25m et classées dans MESALES de 1 (pente très faible) à 8 (pente très forte) en fonction de leur influence sur l'érosion des sols. Cette note de pente entre 1 et 8 est ensuite pondérée selon la note d'aire drainée, qui oscille entre 1 (peu d'aire drainée) et 3 (importante aire drainée). Les notes d'aire drainée supérieures à 1 aggravent le phénomène érosif. On obtient alors une note d'érosivité des pentes entre 1 (érosivité faible) et 8 (érosivité forte). [3]

Tableau 7 - Tableau de conversion des classes de pentes et d'aire drainée en note MESALES

Valeur de pente	Classe de pente	Aire drainée		
		< 1 ha	1 à 20 ha	20 ha <
0 à 1 %	1	1	2	3
1 à 2 %	2	2	3	4
2 à 5 %	3	3	4	5
5 à 10 %	4	4	5	6
10 à 15 %	5	5	6	7
15 à 30 %	6	6	7	7
30 à 75 %	7	7	7	7
Plus de 75 %	8	8	8	8





*Figure 13 - Carte du facteur topographique*

## 2.2.D Méthodologie du facteur climatique

### - Données

Pour le climat, les données de l'ESDAC (European Soil Data Centre) [5] ont été utilisées. Il s'agit d'une étude européenne sur l'érosivité des pluies. Des cartes annuelles, saisonnières et mensuelles de l'érosivité des pluies au raster de 500m ont été réalisées dans le cadre de cette étude à partir des données de durée, cumul et intensité des pluies, tout en prenant en compte les événements pluvieux exceptionnels.

Les cartes d'érosivité des pluies par saisons ont été découpées pour correspondre au territoire du SDAGE Loire-Bretagne. Le choix a été fait afin d'éviter de restreindre le jeu de données au bassin versant de la Vaine uniquement et d'exacerber des différences territoriales minimales. Étendre le jeu de données au bassin Loire-Bretagne permet ainsi de mettre en évidence des contrastes climatique plus réalistes liés au panel plus grand de typologies de territoires du bassin Loire-Bretagne. Les cinq classes d'érosivité ont ensuite été établies par séparation des jeux de données saisonniers en cinq quantiles.

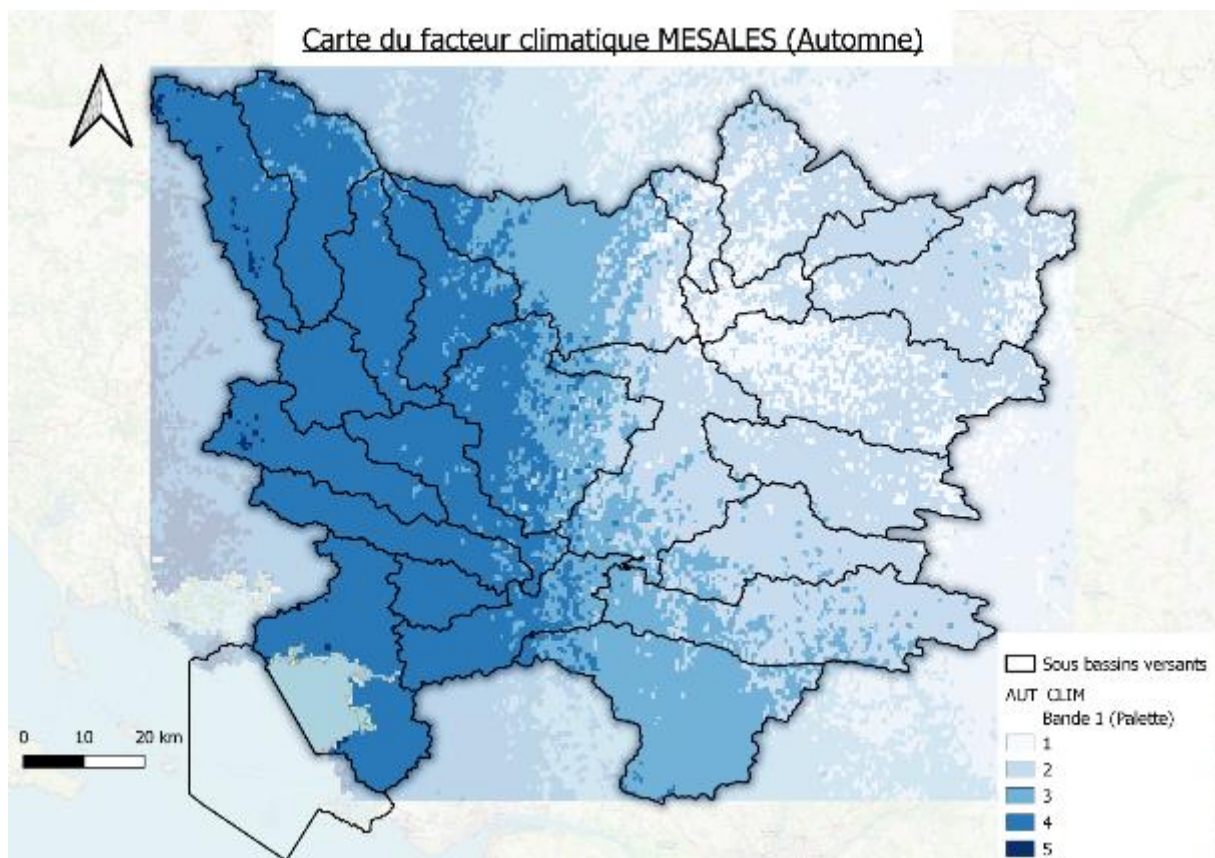


Figure 14 - Carte du facteur climatique automne

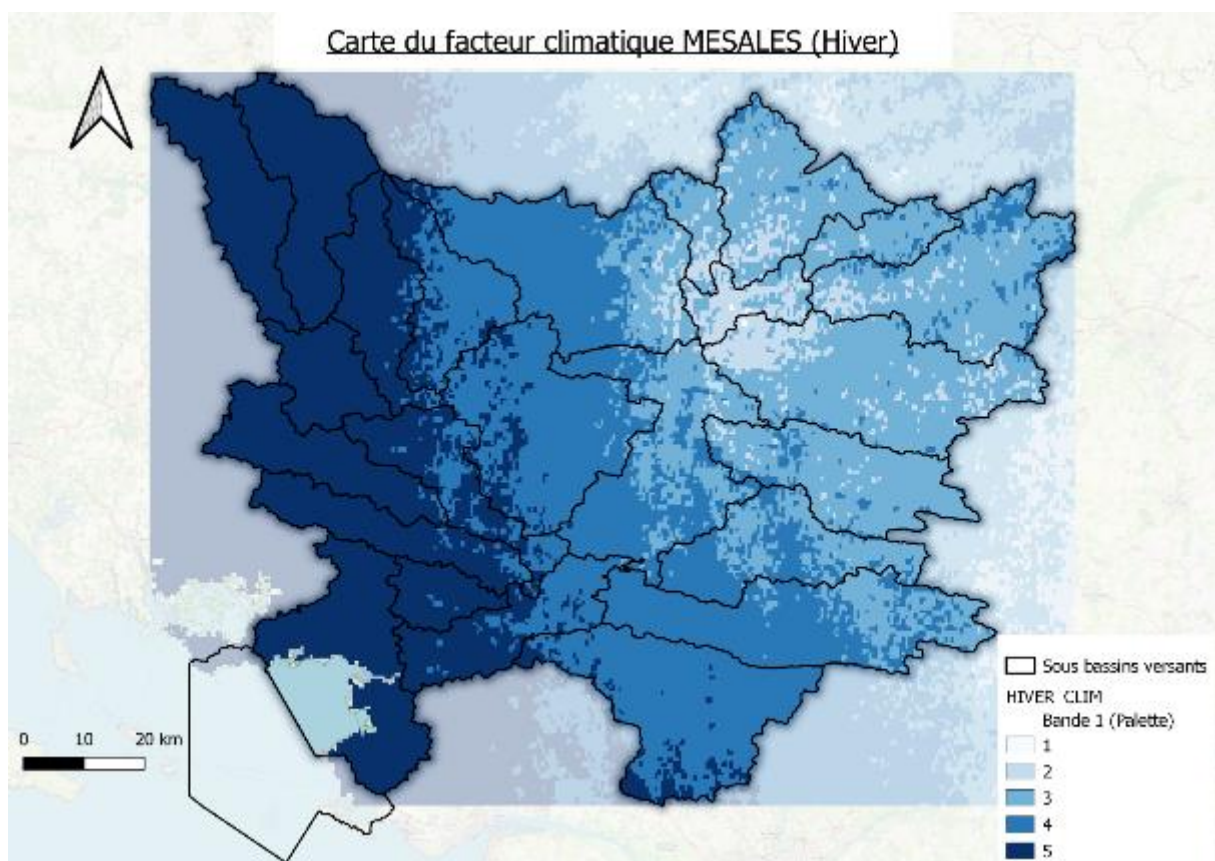


Figure 15 - Carte du facteur climatique hiver



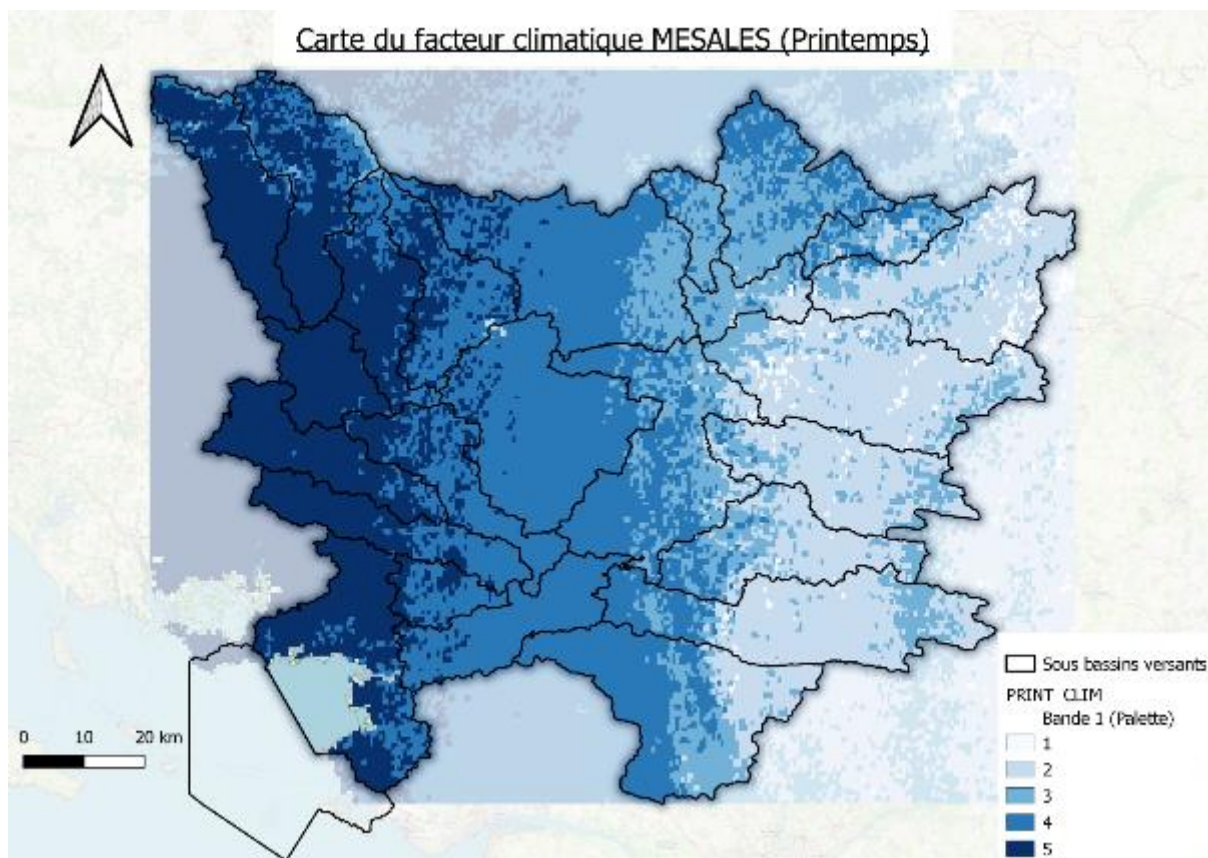


Figure 16 - Carte du facteur climatique printemps

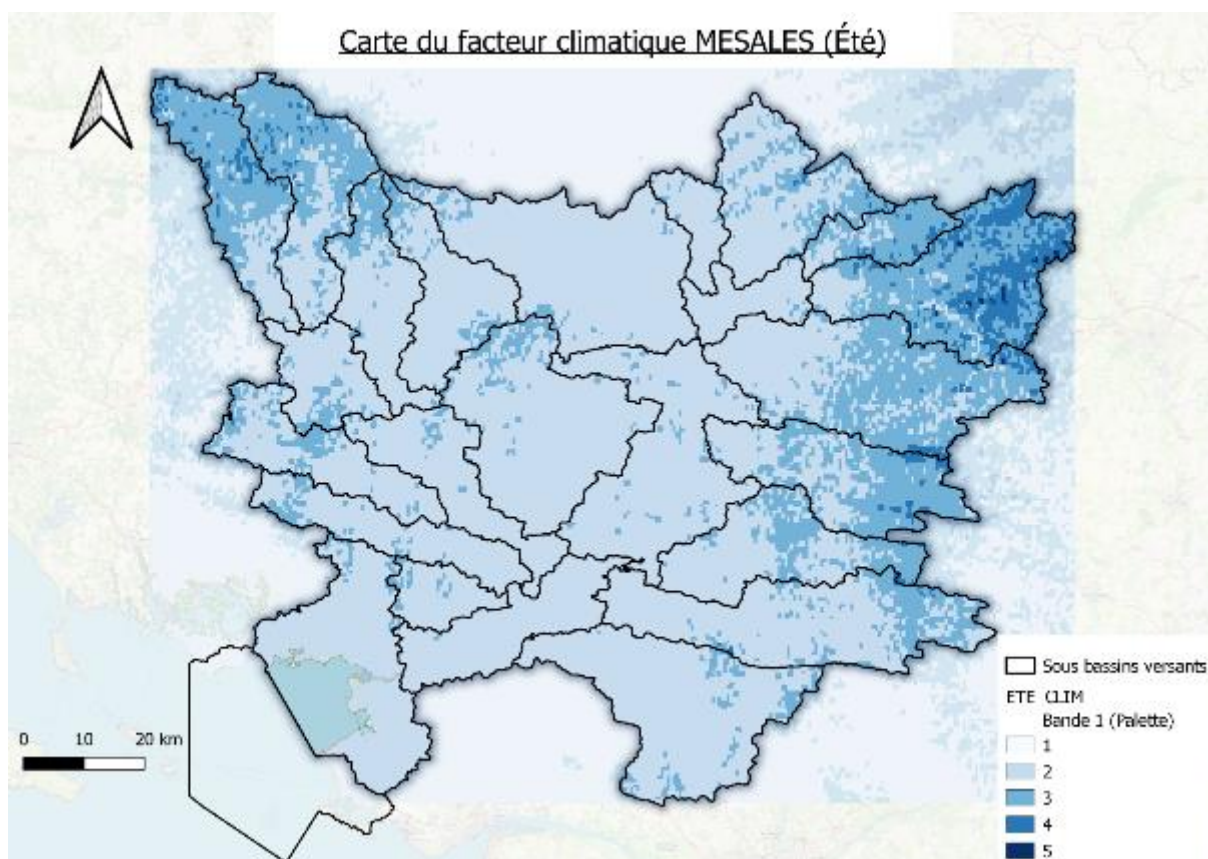


Figure 17 - Carte du facteur climatique été



## 2.3 Cartes en sortie

Une fois les différentes cartes des facteurs d'entrée réalisées, il est alors possible de les combiner via cet arbre de décision pour en ressortir les différentes données de sortie :

1. la carte de sensibilité intrinsèque des sols représente la sensibilité des sols à l'érosion s'ils étaient laissés nus. Elle ne prend en compte que les cartes de topographie et de pédologie. On considère en effet que les sols agricoles sont tous des « Terres arables / Sol nu 1 an sur trois », y compris les prairies. Les autres usages des sols (forêt, eau, urbain, minéral) sont laissés en l'état. Le climat n'est lui aussi pas considéré : il est dit de classe 3 sur tout le territoire.
2. la carte de sensibilité des sols ajoute la dimension d'occupation des sols et de couvert végétal à la carte précédente. Seul le climat n'est pas considéré et reste classé 3 sur tout le territoire.
3. c'est en ajoutant l'effet du climat que l'on ajoute la notion de risque et donc d'aléa à la carte.

Les méthodes de création des cartes des facteurs donnant lieu à des cartes saisonnières pour les facteurs d'occupation des sols et du climat, les cartes en sortie sont également saisonnières. Chacune de ces cartes, de sensibilité comme d'aléa, peuvent donc être déclinées pour chaque saison.

Après discussion en CoTech avec des connaisseurs du territoire et au vu des résultats d'aléa bruts pour chaque saison, il a été retenu que le printemps serait la saison de référence en ce qui concerne l'aléa érosion, pour plusieurs raisons :

1. La carte d'occupation des sols du printemps est celle qui comporte le plus de proportions de sol nu de toutes les cartes d'occupation. De plus, la répartition des classes d'OCS des cartes du printemps, de l'hiver et de l'automne restent assez similaires.
2. La carte du climat printanière laisse bien apparaître le gradient d'érosivité qui s'aggrave de l'est vers l'ouest. Avec l'hiver, c'est également la carte avec les érosivités climatiques les plus fortes.
3. En Cotech, ce sont les saisons de l'automne et du printemps qui ont été jugées les plus critiques en termes d'érosion au vu des constatations terrains de certains acteurs.

Les cartes obtenues sont des cartes brutes au pixel raster de 25m. Afin de la rendre plus lisible et compréhensible, une agrégation à une échelle de décision est nécessaire.

## 2.4 Agrégation de la carte aléa érosion

### 2.4.A Découpage de la carte

Le découpage de la carte a suscité de nombreuses discussions au sein du Comité Technique.

- L'échelle des sous bassins versants n'a pas convaincu. Les zones trop étendues ( $470\text{km}^2$  en moyenne) rendent le découpage du territoire inefficace.

- Les masses d'eau, couramment utilisées dans le découpage des cartes aléa érosion, n'ont pas été retenues par le comité. Le découpage trop hétérogène laissait encore des masses d'eau trop grandes, jusqu'à  $630\text{km}^2$  pour la plus grande, pour une moyenne de  $70\text{km}^2$ .

- Les communes, également utilisées dans le découpage des cartes aléa érosion, sont d'une taille idéale pour notre découpage ( $30\text{km}^2$ ) en moyenne. C'est, de plus, un découpage homogène sur tout le territoire. En revanche, c'est un découpage administratif qui ne tient pas compte du tracé des cours d'eau, qui sont pourtant un enjeu important de l'érosion. Il n'a donc pas été retenu.

- Les têtes de bassins versants, rapidement évoquées, sont trop petites ( $1,25\text{km}^2$  en moyenne), en plus de ne pas prendre en compte près de 25% du territoire.

Nous avons alors décidé de repartir du découpage des zones hydrologiques de la base de données Carthage. Ces zones hydrologiques sont basées sur le découpage cohérent d'une partie ou tout des contours des bassins versants topographiques.

Un découpage supplémentaire a été créé : les bassins versants de rang de Strahler 1 à 3 ont été agrégés entre eux tant qu'ils constituaient des bassins versants cohérents d'une superficie supérieure à  $8\text{km}^2$  (borne définie par la résolution des données d'entrée). Tous les autres bassins versants (de rang 1 solitaires, de rang 2 solitaires ou de rang  $> 3$ ) ont été agrégés par zones hydrologiques de la base de données Carthage.

Le découpage ainsi obtenu est cohérent hydrologiquement, est basé sur les bassins versants du territoire et à une échelle pertinente au vu de nos données d'entrée. ( $25\text{km}^2$  de superficie en moyenne)

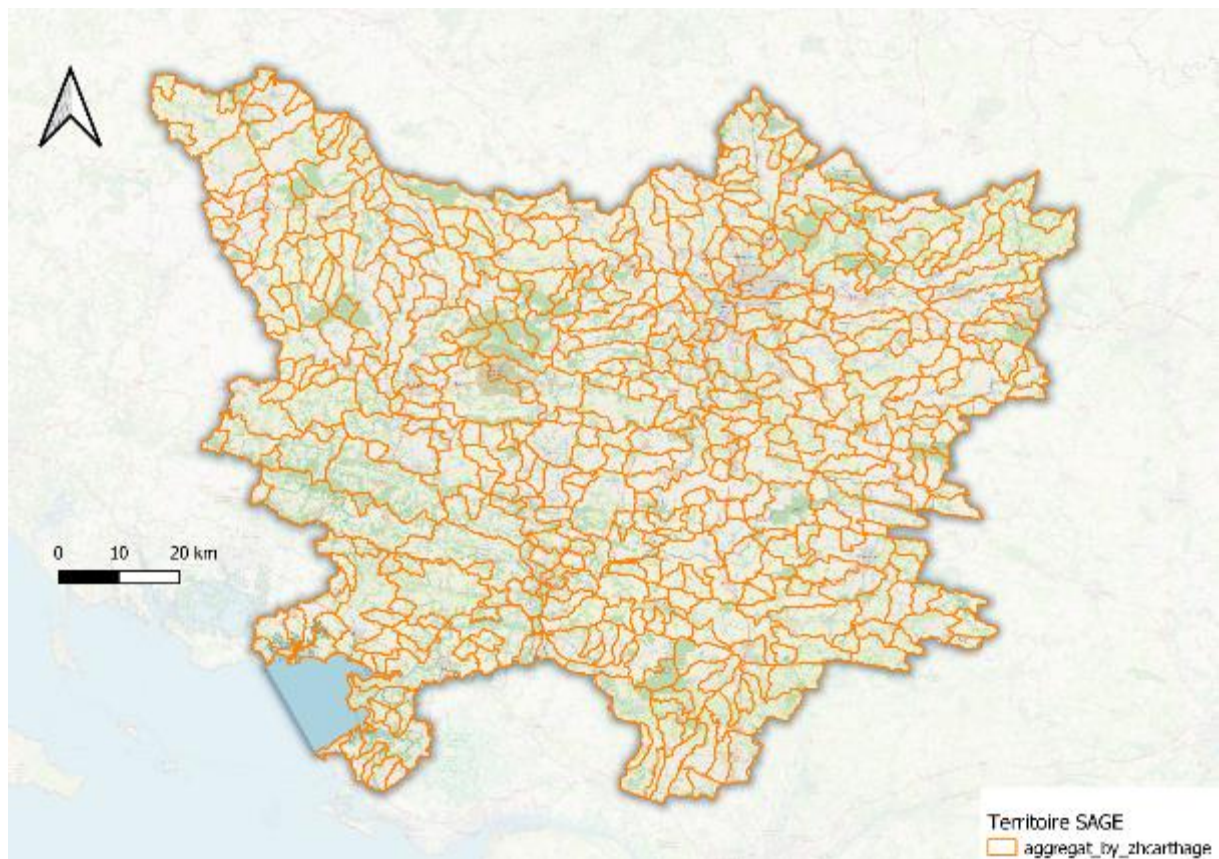


Figure 18 - Carte du découpage choisi pour la réagrégation

#### 2.4.B Méthode d'agrégation

Dans chacune de ces zones découpées de la carte, il y a une multitude de pixels de 25m qui possèdent des notes d'aléa érosion variant de 1 à 5. L'objectif de la réagrégation de la carte aléa est d'attribuer à chacune de ces zones une note d'aléa unique afin de faciliter la lecture de la carte ainsi que la prise de décision.

La méthode d'agrégation choisie est celle des règles de décision d'Yves le Bissonnais [6], qui a été pensée pour toute la France. Selon ces règles de décisions en lien avec le pourcentage de surface occupée par chaque aléa au sein de la zone, celle-ci se voit attribuée une note d'aléa globale.

Tableau 8 - Règles de décisions

% de surface des aléas présents dans l'unité de surface	Aléa affecté à l'unité de surface
<p>31 &lt;= Aléa très fort OU 43% &lt;= Aléa fort + très fort OU 62% &lt;= Aléa moyen + fort + très fort</p>	TRES FORT
<p>19% &lt;= aléa très fort &lt; 31% OU 28% &lt;= aléa fort + très fort &lt; 43% OU 40% &lt;= aléa moyen + fort + très fort &lt; 62%</p>	FORT
<p>7% &lt;= aléa très fort &lt; 19% OU 12% &lt;= aléa fort + très fort &lt; 28% OU 19% &lt;= aléa moyen + fort + très fort &lt; 40%</p>	MOYEN
<p>2% &lt;= aléa très fort &lt; 7% OU 3% &lt;= aléa fort + très fort &lt; 12% OU 6% &lt;= aléa moyen + fort + très fort &lt; 19%</p>	FAIBLE
<p>84% &lt; Aléa très faible OU Aléa très fort &lt; 2% OU Aléa fort + très fort &lt; 3% OU Aléa moyen + fort + très fort &lt; 6%</p>	TRES FAIBLE

### 3. RÉSULTATS

#### 3.1 Carte de sensibilité intrinsèque des sols

Carte Sensibilité Intrinsèque Érosion au pixel raster de 25m

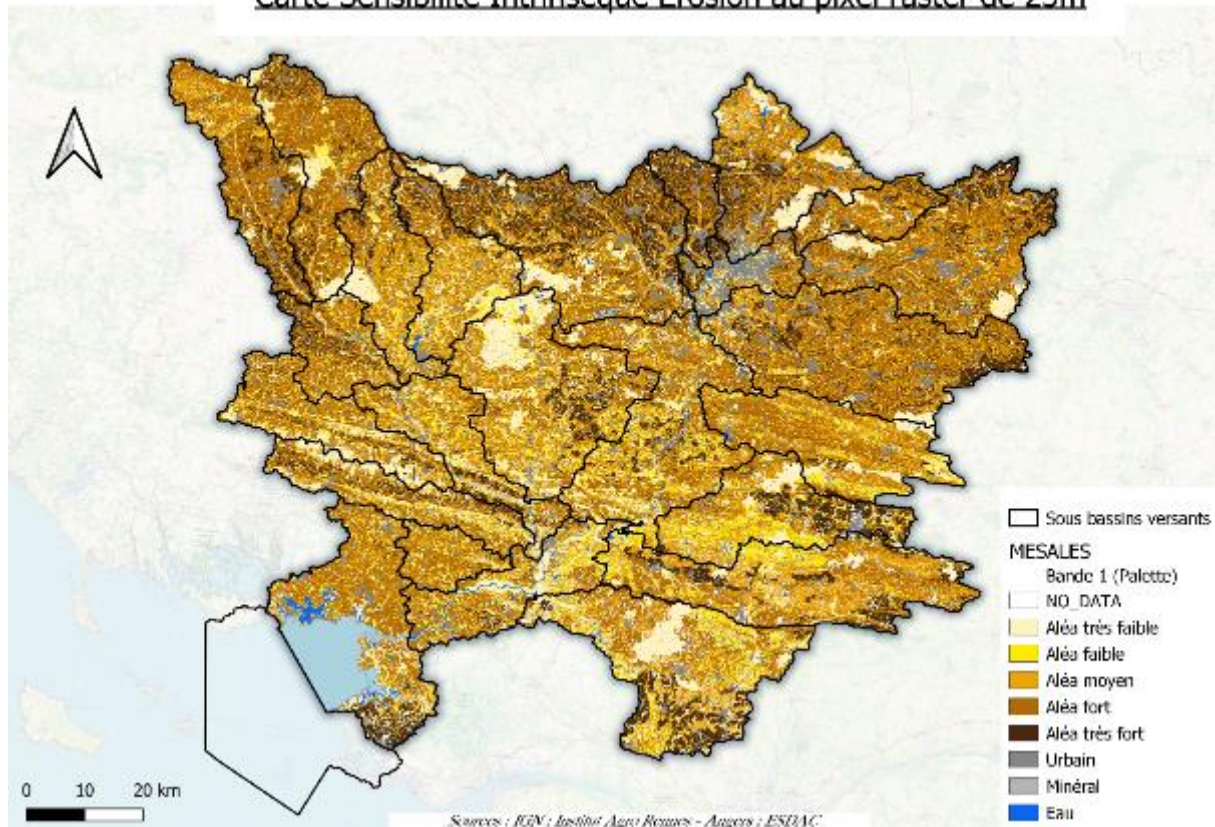


Figure 19 - Carte de sensibilité intrinsèque des sols à l'érosion

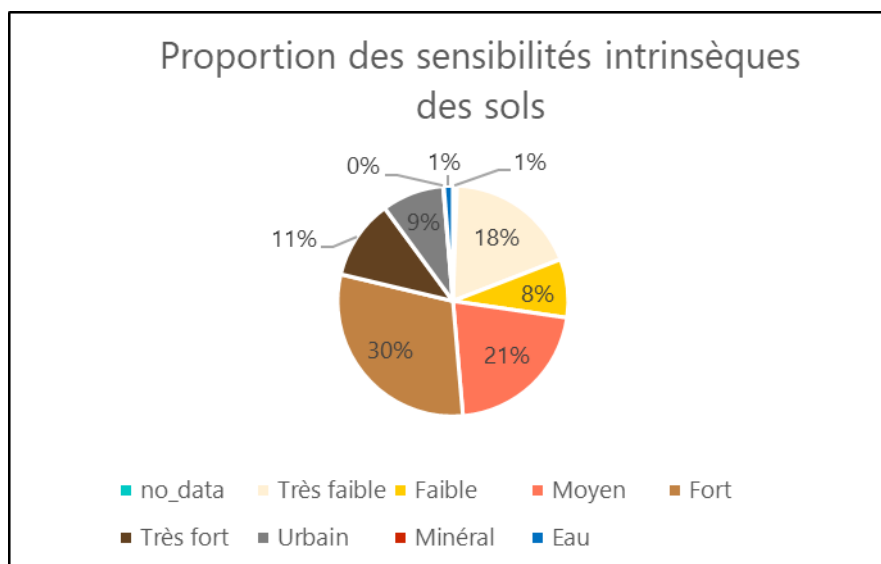


Figure 20 - Proportions des sensibilités intrinsèques des sols sur le bassin versant de la Vilaine

Ce qui saute aux yeux est la forte proportion de sensibilité intrinsèque moyenne à très fort : plus de 60%, dont 41% d'aléa fort à très fort. Les zones en aléa les plus forts restent la partie nord du bassin versant, qui s'expliquent avec les caractéristiques du sol sur cette



zone (forte battance et érodibilité). Cette carte à forte sensibilité intrinsèque, en comparaison avec les autres cartes, permet de montrer le fort pouvoir protecteur des sols.

### 3.2 Carte de sensibilité des sols

Carte Sensibilité des sols à l'érosion au pixel raster de 25m

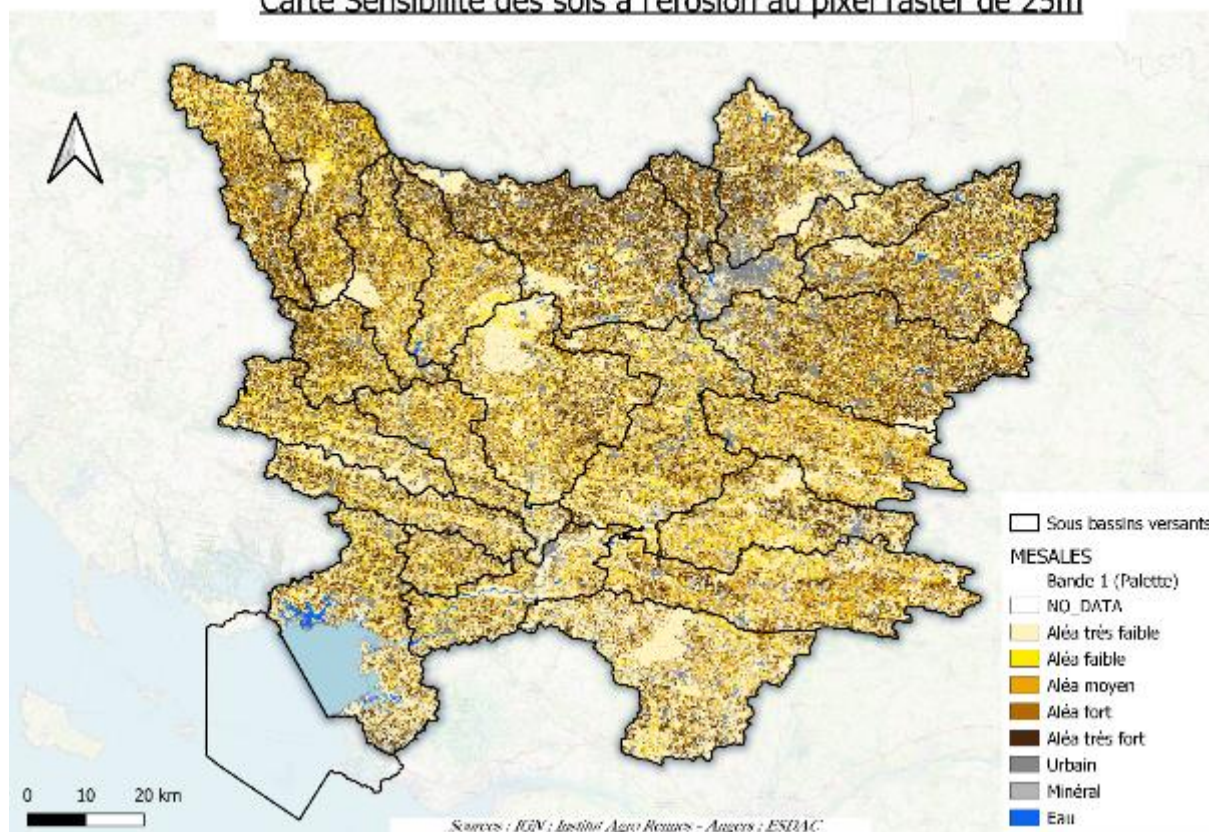


Figure 21 - Carte de sensibilité des sols à l'érosion sur le bassin versant de la Vilaine

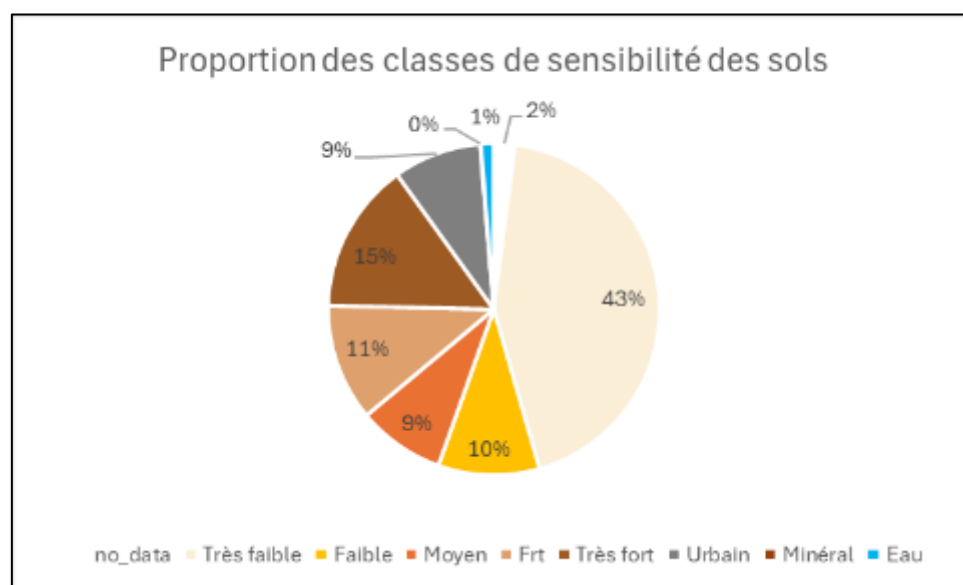


Figure 22 - Proportions des classes de sensibilité des sols



L'ajout du couvert végétal des terres agricoles modifie du tout au tout les proportions de sensibilité du territoire. Les aléas forts passent de 41 à 26% ; l'aléa très faible double en proportion en passant à 43%, contre 18% auparavant.

Cela montre bien l'importance du couvert du sol et l'effet important de l'occupation des sols sur le facteur érosif.

Encore une fois, les zones les plus sensibles sont concentrées sur le nord du bassin versant.

### 3.3 Carte Aléa érosion des sols

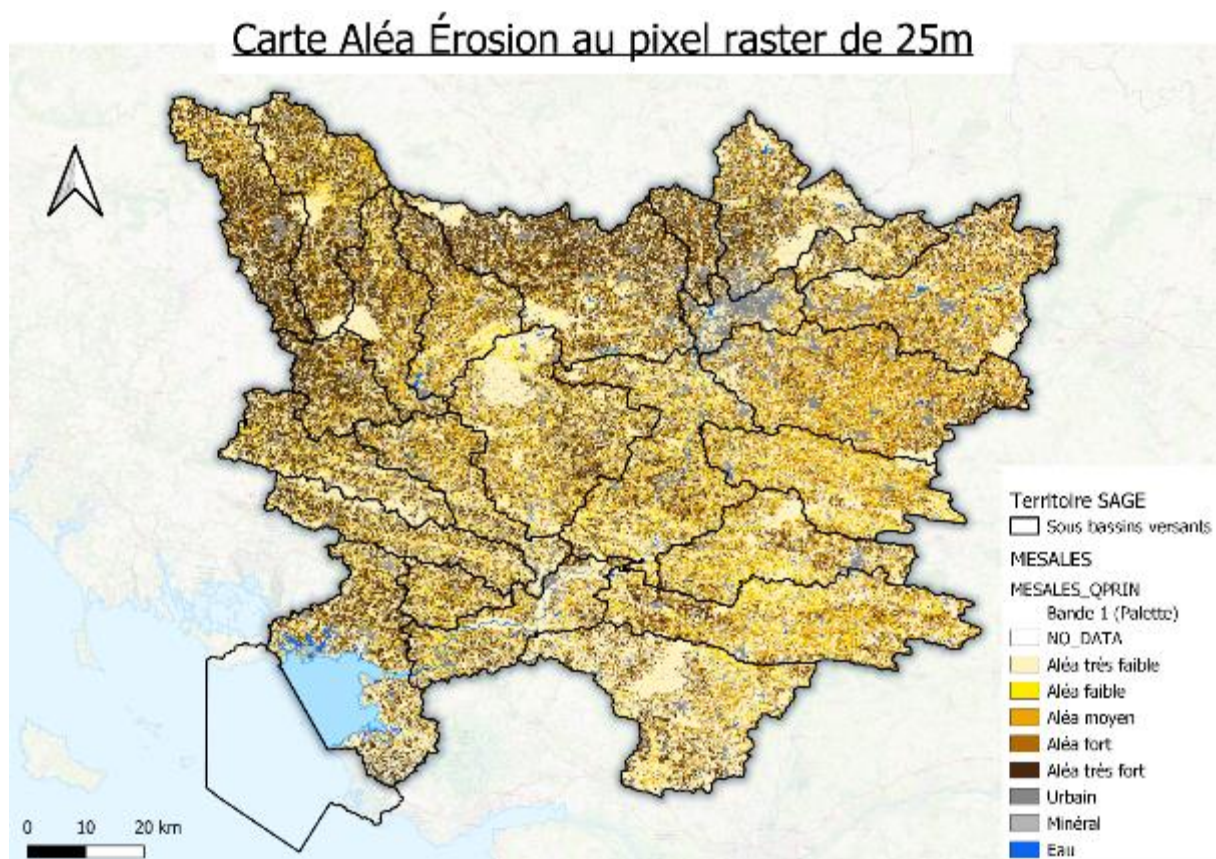


Figure 23 - Carte d'aléa érosion des sols sur le bassin versant de la Vilaine

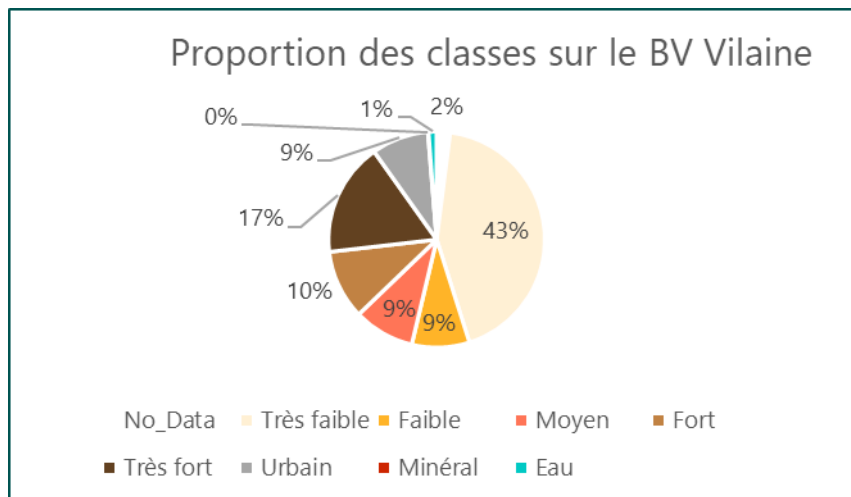


Figure 24 - Proportions des classes de sensibilité des sols

En ajoutant l'effet du climat, avec l'écart de l'érosivité des pluies qui existent entre l'est et l'ouest du bassin versant, on remarque que les notes d'aléa érosif ont tendance à légèrement s'aggraver vers l'ouest du bassin, aux pluies plus érosives, et à s'atténuer dans l'est où les pluies sont moins érosives.

Cela ne change rien aux proportions d'aléa au sein du bassin versant : on reste autour de 35% d'aléa moyen à très fort, dont 27% d'aléa fort à très fort. L'aléa très faible stagne autour de 43%.

### 3.4 Réagrégation de la carte aléa érosion des sols

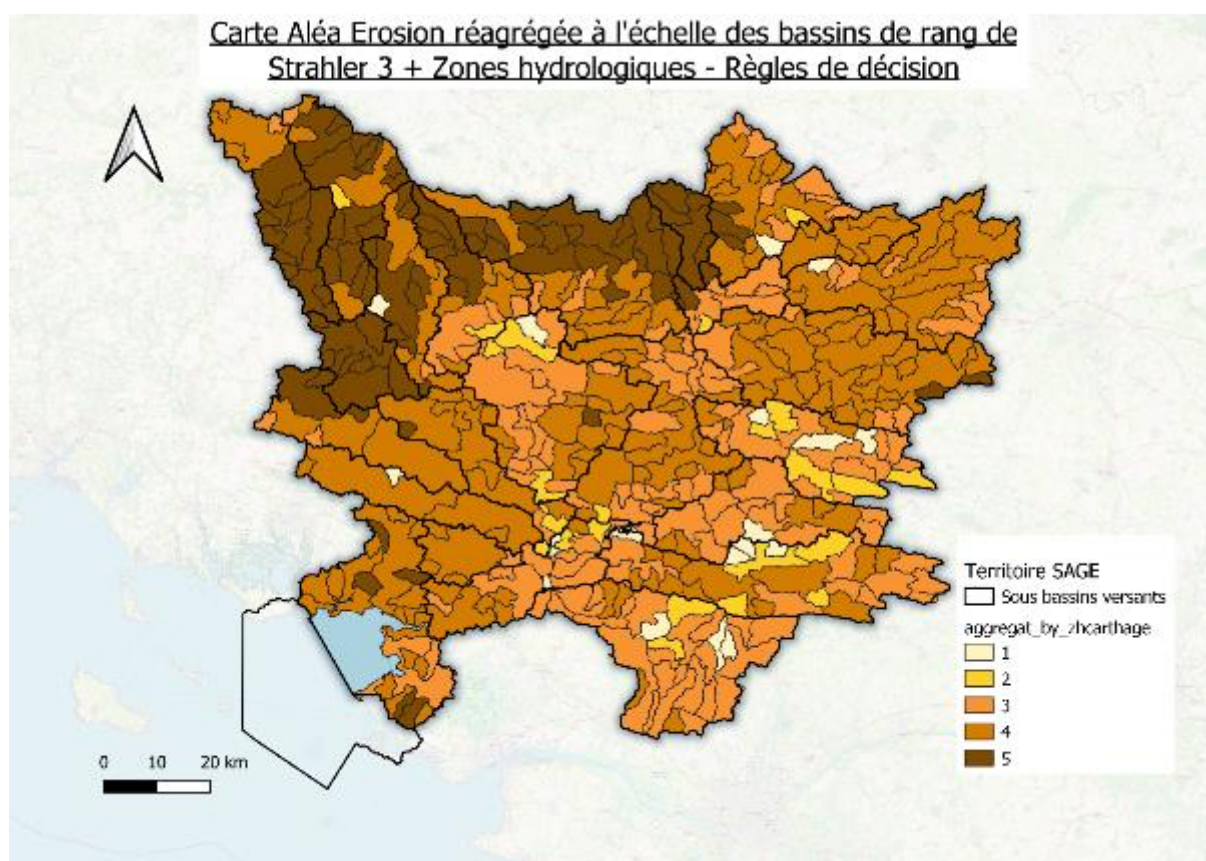


Figure 25 - Carte réagrégée de l'aléa érosion des sols selon le découpage choisi

Lorsque nous appliquons les règles de décision d'Yves le Bissonnais au territoire de la Vilaine, on remarque la forte prédominance des aléas moyens à très fort (90% du bassin versant), qui sont dus à la priorisation des règles des aléas les plus forts. Sitôt un certain seuil de pourcentage de surface en aléa moyen, fort et très fort dépassé, la zone est automatiquement en aléa assez fort, là où le seuil de pourcentage de surface d'aléa très faible pour être considéré très faible est élevé (84% d'aléa très faible dans une zone).

Ce résultat est néanmoins cohérent avec la carte aléa érosion du SDAGE Loire-Bretagne, où la majorité du territoire de la Vilaine avait été notée en aléa moyen à très fort.

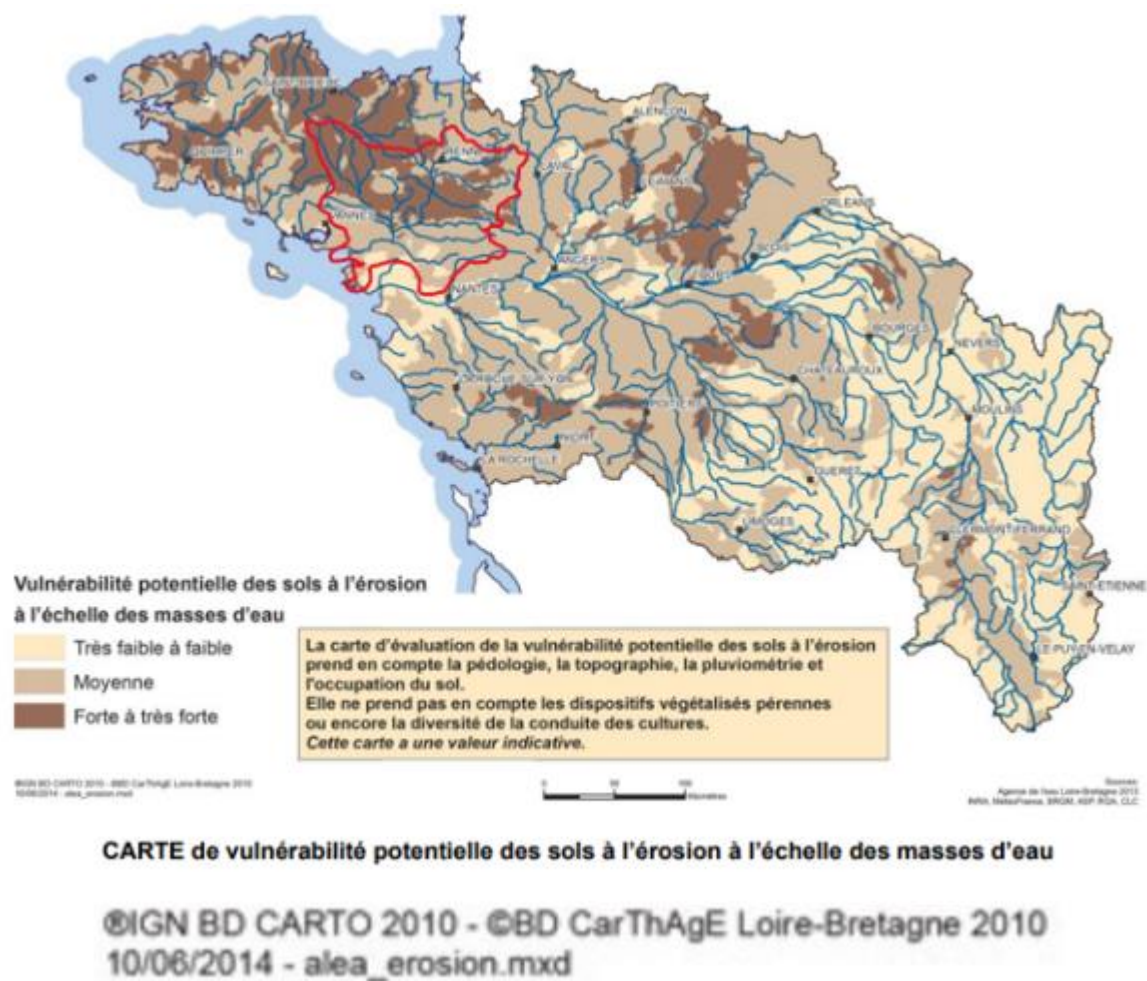


Figure 26 - Carte Aléa Erosion des sols du SDAGE Loire-Bretagne 2016 - 2021

## 3. DISCUSSIONS

### 3.1 Limites de la carte

Cette carte a pour but d'être utilisée dans un cadre de planification et de délimitation de zones prioritaires où mener des actions de protection. Ses indications d'aléa érosif à la parcelle ne sauraient se passer d'une expertise sur le terrain à l'aide d'outils adaptés à l'échelle opérationnelle.

La donnée limitante à la précision de la carte reste la donnée pédologique. Si les référentiels régionaux pédologiques au 1/250 000 restent une amélioration par rapport à la carte géologique de France au 1 / 1 000 000, c'est encore une fois la donnée la moins précise que nous possédons.

En ce qui concerne la réaggrégation, nous obtenons un résultat peu contrasté sur le territoire. Si ce résultat correspond à une vérité, il peut complexifier la tâche de délimitation de zones prioritaires telle que décrite dans le SAGE, qui mentionne la délimitation de zones d'actions dans les zones où la vulnérabilité est de moyenne à très forte. Les objectifs de délimitation devront alors être ajustés ou croisés avec d'autres



données pour faciliter le zonage, comme les aires d'alimentation de captage prioritaires, par exemple.

## 3.2 Perspectives

Au niveau des éventuelles améliorations de la carte :

1. au niveau du climat, l'Observatoire de l'environnement en Bretagne travaille sur la mise à disposition de cartes climatiques sur tout le territoire de la Bretagne ainsi que du bassin versant de la Vilaine, en lien avec les données de Météo-France. Reste à voir si l'utilisation des mailles SAFRAN de 8km est pertinente sur notre territoire où si garder l'étude de l'ESDAC est plus pertinente.
2. surveiller l'évolution des données : nouvelles façons de considérer l'occupation des sols et le couvert végétal, données plus récentes, données pédologiques à résolution plus fine...

D'autres possibilités au niveau de la carte consisteraient à :

1. considérer des cas d'aléa érosif selon plusieurs hypothèses : horizon 2050 avec l'évolution du climat, l'évolution ou non des pratiques culturales afin de voir l'éventuel impact du changement climatique sur l'aléa érosif.
2. tester certains systèmes de cultures, certaines rotations de culture sur le territoire, certains cas de couverts permanents afin de voir l'évolution de l'aléa érosif en fonction de l'évolution de la couverture végétale dans certaines zones. Il est néanmoins bon de noter que considérant la méthode actuelle de création de la carte OCS pour MESALES, changer de scénario cultureux à l'échelle du bassin versant de la Vilaine risque d'être fastidieux. Des tests de changements cultureux avec d'autres outils d'estimation de l'érosion sur des zones plus restreintes serait plus adapté, autant en termes de précisions des données et travail de terrain que de pédagogie.

## 4. CONCLUSION

La carte aléa érosion est le fruit de nombreuses discussions entre des acteurs variés du territoire du bassin versant, sous la guidance scientifique de l'Institut Agro Rennes-Angers, qui a permis d'amasser de nombreuses données intéressantes et homogènes sur tout le territoire (données pédologiques, climatiques, occupation des sols...) de la Vilaine.

L'aléa érosion des sols a été évalué avec le modèle expert MESALES, qui est un modèle qualitatif qui fonctionne sous la forme d'un arbre de décision et qui a été utilisé dans de nombreuses études de l'aléa érosif en France, à différentes échelles.

L'application de ce modèle sur le territoire nous a permis de montrer que 35% du territoire était en aléa moyen à très fort. Après réagrégation, on se rend compte qu'une majorité du territoire se classe en aléa moyen à très fort.

Cette cartographie pourra ensuite être croisée avec d'autres données dans l'objectif de délimiter des zones d'action prioritaires de lutte contre l'érosion des sols et autres enjeux liés au ruissellement (transfert de polluants, coulées de boue, etc.)

## 5. BIBLIOGRAPHIE

- [1] Y. Le Bissonnais, C. Bardet, J. Thorette, J. Daroussin, 2002. *L'érosion hydrique des sols en France*. Rapport INRA, IFEN.
- [2] S. Vincent – AGROCAMPUS OUEST RENNES MESALES : *Sensibilité des sols à l'érosion et aléa d'érosion des sols* – ArcGIS 10.6 – Version du 19/03/2019
- [3] F. Degan, S. Salvador-Blanes, O. Cerdan, 2015. *Projet Verseau – Cartographie de l'aléa érosif sur le bassin Loire-Bretagne*. Agence de l'Eau, Laboratoire GéoHydrosystèmes Continentaux de l'Université François Rabelais de Tours, BRGM.
- [4] V. Antoni, Y. Le Bissonnais, J. Thorette, N. Zaidi, B. Laroche, S. Barthès, J. Daroussin et D. Arrouays, 2006. *Modélisation de l'aléa érosif des sols en contexte méditerranéen à l'aide d'un référentiel régional pédologique au 1 / 250 000 et confrontation aux enjeux locaux*. Etude et gestion des sols, volume 13, 3, pages 201 à 222.
- [5] P. Panagos , C. Ballabio, P. Borrelli, K. Meusburger, A. Klik, S. Rousseva, M.P. Tadić, S. Michaelides, M. Hrabalíková, P. Olsen, J. Aalto, M. Lakatos, A. Rymaszewicz , A. Dumitrescu, S. Beguería, C. Alewell, 2015. *Rainfall Erosivity in Europe*. Sciences of the Total Environment, n°511, p801 – 814.
- [6] Y. Le Bissonnais, N. Dubreuil, J. Daroussin, M. Gorce, 2004. *Modélisation et cartographie de l'aléa érosion des sols à l'échelle régionale – Exemple du département de l'Aisne*. Étude et Gestion des Sols, Volume 11, 3, page 307 à 321.
- [] J.F. Desprats, A. Bourguignon, O. Cerdan, Y. Le Bissonnais, A. Colmar, 2006. *Guide méthodologique pour un zonage départemental de l'érosion des sols*. Rapport BRGM-RP-55049, 67 pp, 61ill..
- [] S. Nurdyk, O. Cerdan, I. G. Dubus, 2006. *Guide méthodologique pour un zonage départemental de l'érosion des sols*. Rapport BRGM-RP-55103, 60 pp, 60 ill.
- [] V. Landemaine, C. Doney, 2022. *Evaluation du risque ruissellement et coulée de boue sur le territoire de l'EPAGE Sequana – Cartographie de l'aléa et du risque ruissellement et coulée de boue*. Rapport final. RP – 71289-FR, 117p, 56 fig, 16 tab, 4 ann.

## 6. Table des figures

Figure 1 - Schéma synthétisant les étapes du processus de l'érosion hydrique Source : agro-transfert-rt.org ; Thibault Lorrain.....	2
Figure 2 - Localisation et délimitation du bassin versant de la Vilaine Source : Eaux & Vilaine .....	3
Figure 3 - Schéma du principe général du modèle MESALES.....	4
Figure 4 - Schéma de fonctionnement de MESALES .....	5
Figure 5 - Carte d'OCS de l'automne.....	12
Figure 6 - Carte OCS de l'hiver.....	12
Figure 7 - Carte OCS du printemps .....	13



Figure 8 - Carte OCS de l'été .....	13
Figure 9 - Diagrammes ternaires de battance et d'érodibilité en fonction des textures Source : ENSAT .....	15
Figure 10 - Organigramme des règles de pédotransfert pour estimer les facteurs de battance et d'érodibilité (EG% = abondance en éléments grossiers ; MO : abondance en matière organique ; E : érodibilité ; B : battance).....	15
Figure 11 - Carte de la battance.....	16
Figure 12 - Carte de l'érodibilité.....	16
Figure 13 - Carte du facteur topographique.....	18
Figure 14 - Carte du facteur climatique automne .....	19
Figure 15 - Carte du facteur climatique hiver.....	19
Figure 16 - Carte du facteur climatique printemps .....	20
Figure 17 - Carte du facteur climatique été .....	20
Figure 18 - Carte du découpage choisi pour la réagréation .....	23
Figure 19 - Carte de sensibilité intrinsèque des sols à l'érosion.....	25
Figure 20 - Proportions des sensibilités intrinsèques des sols sur le bassin versant de la Vilaine .....	25
Figure 21 - Carte de sensibilité des sols à l'érosion sur le bassin versant de la Vilaine .....	26
Figure 22 - Proportions des classes de sensibilité des sols .....	26
Figure 23 - Carte d'aléa érosion des sols sur le bassin versant de la Vilaine .....	27
Figure 24 - Proportions des classes de sensibilité des sols .....	28
Figure 25 - Carte réagréée de l'aléa érosion des sols selon le découpage choisi .....	29
Figure 26 - Carte Aléa Erosion des sols du SDAGE Loire-Bretagne 2016 - 2021 .....	30
 Tableau 1 - Avantages & Inconvénients du modèle MESALES.....	5
Tableau 2 - Classification MESALES de l'Occupation des Sols .....	6
Tableau 3 - Extrait de la classification du taux de couverture par saison Source : Projet Verseau .8	
Tableau 4 - Code issu de la classification du code à 3 chiffres, obtenu pour chaque saison, suite à la combinaison des 3 années du RPG (2019 - 2020 - 2021). COUV = équivalent MESALES (cf. tableau 2) ; comb = combinaison des 3 codes couverts .....	9
Tableau 5 - Tableau de conversion des groupes de culture du RPG complété en classification MESALES .....	10
Tableau 6 - tableau de conversion entre la classe OSO-Theia et la classification MESALES.....	11
Tableau 7 - Tableau de conversion des classes de pentes et d'aire drainée en note MESALES ...	17
Tableau 8 - Règles de décisions.....	24