

Bon état des cours d'eau en Normandie occidentale

Prise en compte des transferts par ruissellement érosif



Protocole opérationnel de pré-identification des zones contributives

Cédric GOUINEAU - Juin 2020



Résumé

Plusieurs dizaines d'opérateurs travaillent depuis plus de 10 ans à la restauration des cours d'eau dans leur composante rivulaire et progressivement morphologique. Néanmoins, l'apport de matières en suspension, et leurs composés chimiques associés, sont une autre source de dégradation des milieux aquatiques et de la qualité de l'eau sur lesquels des actions de restauration doivent être menées. Ces actions organisées en programmes pluriannuels doivent s'appuyer sur un diagnostic parcellaire de terrain. Compte tenu de l'ampleur du territoire à diagnostiquer, la CATER¹ de Basse-Normandie a décidé de proposer aux maîtres d'ouvrage un outil leur permettant de cibler les unités hydrographiques à diagnostiquer en priorité. Cette méthode de priorisation s'appuie sur l'analyse spatiale de 9 paramètres au sein d'un SIG². La méthode consistant à calculer une note comparative entre les unités hydrographiques, le processus n'utilise que des données disponibles de manière homogène sur le périmètre d'étude et exclut des données plus précises disponibles très localement. Deux niveaux d'USI³ sont utilisés, les bassins de masses d'eaux superficielles pour une comparaison départementale ou régionale et les sous-zones hydrographiques à plus petite échelle.

Mots clés : érosion, ruissellement, sol, masses d'eau superficielles, Matières En Suspension (MES), agriculture, système d'information géographique (SIG), analyses spatiales, pré-identification.

Remerciements

Le travail présenté dans ce document est le fruit d'un travail collectif au sein de la CATER Calvados Orne Manche et de ses partenaires. Nous tenons ici à remercier les représentants des DDT(M)⁴, de la DREAL⁵ de Normandie, des Chambres d'Agriculture, de l'Agence de l'Eau Seine-Normandie et les animateurs(trices) des SAGE⁶, qui ont contribué au sein du comité de pilotage à apporter un regard extérieur expert.

¹ CATER : Cellule d'Animation Technique pour l'Eau et les Rivières

² SIG : Système d'Information Géographique

³ USI : Unité Spatiale d'Intégration

⁴ DDT(M) : direction Départementale des Territoires (et de la Mer)

⁵ DREAL : Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement

⁶ SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux

RÉSUMÉ.....	3
REMERCIEMENTS.....	3
SOMMAIRE.....	4
PRÉAMBULE.....	5
LA ZONE D'ÉTUDE.....	7
HIÉRARCHISATION DES PHÉNOMÈNES.....	8
DONNÉES NUMÉRIQUES EXPLOITÉES.....	9
TRAITEMENT DES DONNÉES.....	10
1. PENTES.....	11
2. TEXTURE DU SOL.....	13
3. GÉOLOGIE.....	16
4. OCCUPATION DU SOL.....	17
5. SURFACE DE L'ÎLOT.....	23
6. INTENSITÉ DE CONNEXION DE L'ÎLOT.....	24
7. PLUVIOMÉTRIE.....	29
8. DENSITÉ BOCAGÈRE.....	31
9. SURFACES URBANISÉES.....	34
10. CROISEMENT DES DONNÉES.....	36
ANNEXES.....	40

Préambule

Depuis plusieurs années, les phénomènes d'écoulement boueux sont devenus une préoccupation en Basse-Normandie. Dans un contexte où les maîtres d'ouvrages locaux se mobilisent de plus en plus pour faire face aux échéances d'objectifs de bonne qualité de l'eau et des milieux aquatiques, l'apport périodique massif de MES et de substances chimiques corollaires constituent à cet égard un problème réel. Afin de faciliter l'intégration de cette problématique dans les programmes de restauration de bassin versant, la CATER Calvados Orne Manche propose aux maîtres d'ouvrage la mise en œuvre d'une démarche opérationnelle en 3 étapes.

Notons par ailleurs, qu'autour du phénomène d'érosion hydrique des sols, d'autres enjeux que la préservation des milieux aquatiques existent : agronomie, atteinte aux biens et aux personnes, paysage, biodiversité. Bien que ces enjeux soient secondaires dans le cadre de cette démarche, ils devront être abordés en phase 3 afin d'aboutir à une approche coordonnée et intégrée.

La première phase de cette démarche consiste à pré-identifier au moyen d'outils d'analyse spatiale, au sein d'un système d'information géographique, les zones potentiellement contributives au phénomène d'érosion hydrique et de son ruissellement vers les cours d'eau. La seconde phase consistera, au travers d'une prospection de terrain sur les zones pré-identifiées, à confirmer le potentiel d'érodibilité des sols, à identifier les phénomènes aggravants, puis à qualifier la vulnérabilité du cours d'eau au travers de la connexion. La dernière phase consiste à proposer une gamme d'actions pouvant être mises en œuvre pour réduire le risque de dégradation du milieu aquatique récepteur.

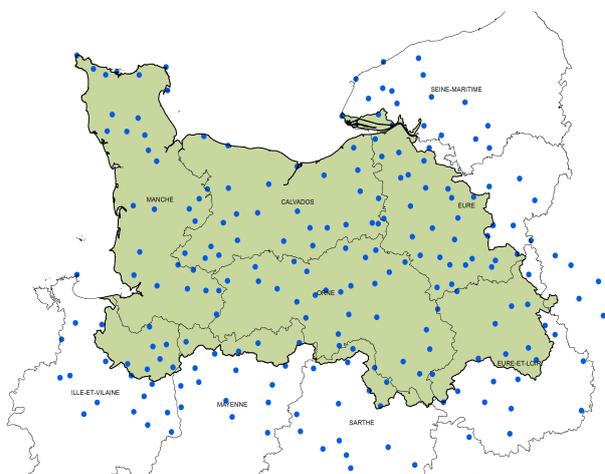
L'objectif du présent document est de décrire le protocole opérationnel de mise en œuvre de la première phase de cette démarche. Celle-ci est sans doute la plus critique, car elle dépend entièrement de la disponibilité de données spatiales appropriées sur le territoire analysé. De nombreuses données à faible résolution existent pour des analyses à large échelle. Cependant, à l'échelle d'un bassin-versant ou de sous-bassin les données sont souvent rares voir inexistantes. Les études scientifiques utilisées comme référence sont soit réalisées par des organismes de recherche disposant de moyens importants, soit la localisation et/ou la taille du site étudié sont déterminées en fonction de la disponibilité des moyens et des données. Dans un cas comme dans l'autre, nous ne pouvons pas nous permettre une telle approche.

Ainsi, le protocole décrit ci-après a une vocation opérationnelle et non scientifique. Il est conçu pour répondre au mieux aux objectifs de la phase n°1 de la démarche, en se basant uniquement sur les données disponibles, les moyens dont disposent la CATER Calvados Orne Manche et/ou les maîtres d'ouvrage. La disponibilité des données pouvant être variable d'un département à l'autre, voir d'un bassin à l'autre, le protocole s'appuiera sur un processus minimal, basé sur les données disponibles pour l'ensemble de la zone d'étude.

De fait, la donnée majeure qui fait le plus défaut dans en Basse-Normandie est la pédologie. Par conséquent, la pré-identification donnera plus de poids à l'aléa ruissellement qu'à l'érosion hydrique.

La zone d'étude

La CATER Calvados Orne Manche intervient presque exclusivement sur la région Basse-Normandie. Néanmoins, les bassins hydrographiques ne correspondant pas aux limites administratives, cette dernière est fréquemment amenée, dans le cadre de ces missions d'animation, à prendre en compte des territoires en marge du périmètre régional. Le périmètre d'étude, et donc de traitement des données brutes, est délimité par un ensemble d'unités hydrographiques de la DTMRBN sur le bassin Seine-Normandie et de sous-secteur hydrographique BD CARTHAGE sur le bassin Loire-Bretagne. Ce périmètre a été défini en concertation avec les chargés de missions affectés à ses territoires marginaux.



Ci-contre, la zone d'étude est illustrée en vert.

Notons que même si le traitement de base couvre l'ensemble de la zone, les USI ne sont pas forcément disponibles sur l'ensemble de ce territoire. L'intégration de la note finale pourra être réalisée au fur et à mesure de la disponibilité de nouvelles entités. L'annexe n°1 illustre la couverture des unités spatiales d'intégration par rapport à la zone d'étude.

Par conséquent, 3 rasters de capture et masques ont été créés sur la base de la maille de la BD ALTI.

Le premier couvre la totalité de la zone d'étude, le second et le troisième couvrent le même périmètre mais les zones pour lesquelles il n'y a pas d'USI1 et d'USI2 sont mises en NoData (ND). Ces deux derniers masques sont utilisés en fin d'analyse pour faire des statistiques spatiales par USI, comme par exemple la densité bocagère.

Concernant les unités spatiales d'intégration de niveau 2 (bassins des masses d'eau) : la couche d'origine intègre les bassins de masses d'eau des districts hydrographiques Seine-Normandie et de Loire-Bretagne. Cinq masses d'eau ne s'insérant pas totalement dans leur périmètre ont été découpées et leurs surface recalculées : FRHT03, FRGR0471, FRGR0457, FRGR0512, FRGL117

Hiérarchisation des phénomènes

Compte tenu du risque considéré dans le cadre de cette démarche, il convient de différencier trois processus différents : le ruissellement, l'érosion hydrique et le transfert du flux qui en résulte vers le cours d'eau.

Le ruissellement

Le phénomène auquel nous nous intéressons ici est le ruissellement Hortonien. Ce dernier apparaît lorsque l'intensité d'une pluie dépasse la capacité d'infiltration du sol. Plusieurs paramètres interviennent dans la genèse et l'intensité de cet écoulement de surface : l'intensité de la pluie, le couvert végétal, la texture et la structure du sol, la pente, l'orientation du travail du sol, la longueur de la parcelle et la présence d'éléments de ralentissement ou de stockage.

L'érosion hydrique

L'érosion hydrique intervient lorsque la compétence acquise par le ruissellement génère une force d'arrachement supérieure à la cohésion du sol. Par conséquent, les paramètres intervenants sont les mêmes que pour le ruissellement mais l'état du sol, sa structure, sa texture et la présence de systèmes racinaires sont ici les facteurs prédominants.

Le ruissellement des eaux pluviales mélangé aux matières issues du sol et mises en suspension, constitue un flux de limons, d'argiles, de sables, d'engrais et de produits phytosanitaires susceptibles de porter atteinte aux cours d'eau drainant le bassin.

Le transfert du flux

Le troisième processus à prendre en compte pour évaluer le risque de contamination des cours d'eau est l'intensité de la connexion du flux, précédemment cité, au cours d'eau. On distingue alors trois intensités de connexion : directe, indirecte et déconnectée. La première concerne les parcelles tangentes au réseau hydrographique. La seconde concerne des parcelles plus éloignées des cours d'eau mais qui y sont reliées par les brèches dans la micro-topographie, les drains ouverts et les fossés bordant le réseau routier. Enfin, les parcelles déconnectées sont des parcelles pour lesquelles le ruissellement est intercepté par la micro-topographie.

Données numériques exploitées

BD ALTI® : 2011 ; raster ; résolution = 25m ; couverture suprarégionale (BD ALTI®)

- Données utiles : pente (%), orientation cardinale des pentes (°),

Relevé parcellaire graphique anonymisé : 2012 ; vecteur ; résolution supra-parcellaire ; couverture suprarégionale (14,61, 50, 27 ; 76, 35, 53, 72)

- Données extractibles : types et surface de cultures (txt)

Corine Land Cover : 2006 ; vecteur ; résolution 25ha ; couverture suprarégionale

- Données extractibles : occupation du sol hors RPGA : grands boisements, surfaces urbanisées (txt)

Base de données des analyses de terre ; vecteur ; résolution cantonale ; couverture suprarégionale

- Données extractibles : texture du sol dominante et secondaire (txt), rapport limons fin / limon grossier (%)

BD TOPO® 2 : 2007 à 2014 suivant les thèmes et les départements ; vecteur ; couverture suprarégionale

- Données extractibles : orientation cardinale du réseau routier (°), densité du réseau routier, densité du maillage bocager, boisements, surfaces urbanisées.

BD CarTHAgE® : 2013 ; vecteur ; couverture suprarégionale

- Données extractibles : réseau hydrographique simplifié et chaîné

Précipitations : valeurs moyennes mensuelles sur la période 1981 - 2000 ; vecteur (localisation des stations) et raster après interpolation ; couverture suprarégionale (acquisition auprès de météoFrance)

- Données extractibles : nombre de jours supérieur à 10mm de précipitations

Géologie : vecteur/raster ; couverture suprarégionale (*source Wikipédia retravaillée*)

- Données extractibles : discrimination des sols sur du massif armoricain et des bassins sédimentaires calcaires.

Traitement des données

NOTES :

Veillez noter que l'ensemble des traitements décrits dans ce document sont réalisés sous ArcGIS 9.3.1, licence Arcview complété par l'extension « Spatial Analyst »

L'accès aux outils est décrit en bleu foncé : Niveau 1 > Niveau 2 > ... > Nom de l'outil

Le nom des couches est présenté entre guillemets et en bleu foncé : « nom couche »

Formule de calculatrice raster : `Couche_resultante = [couche1] + [couche2]`

1. Pentes

1.1. Justification du choix

La pente joue un rôle important dans le processus de ruissellement et d'érosion. D'une part, même sur un sol très stable et avec un couvert végétal, une forte pente générera presque inévitablement des phénomènes de ruissellement susceptibles de lessiver les substances épandues en surface. D'autre part, plus l'inclinaison de la pente est élevée, plus la force d'arrachement que le ruissellement exercera sur les particules du sol sera importante.

1.2. Classification

Le nombre de classes adoptées dans la bibliographie est assez variable (de 3 à 8). Le parti pris est ici de disposer comme pour les autres paramètres de 5 classes afin de faciliter leur combinaison. Ainsi, par rapport au classement initial, une classe de très faible pente (<1%) a été ajoutée pour aboutir au classement suivant :

Classes de pente %	Note
< 1	1000
[1 - 2 [	2000
[2 - 5 [	3000
[5 - 10 [	4000
>= 10	5000

1.3. Analyse spatiale

1.3.1. Pré-traitement

Le pré-traitement consiste à assembler les données de la BD ALTI des 9 départements pour en faire un jeu de données unique couvrant l'ensemble de la zone d'étude. Chaque jeu de données ASCII est converti en raster [Outils de conversion > Vers Raster > ASCII vers raster](#) (utiliser le traitement par lot).

L'assemblage se fait par : [Outils de gestion de données > Raster > Jeux de données raster > Mosaïque vers un nouveau raster](#). Le type de pixel est "16 Bit signé". Le résultat est « mnt_tt_dept ». Le découpage du MNT sur la zone d'étude est réalisé par : [Outils Spatial Analyst > Extraction > Extraction par masque](#). Le masque est la couche « UH_BN ». Il en résulte la couche « mnt_ze » (ze = zone d'étude).

Note : C'est « mnt_ze » qui sert de raster de capture, de masque d'analyse, cale la projection, fixe la taille de cellule et définit l'extension de l'espace de travail. Il est défini comme tel dans les paramètres d'environnement de l'Arctoolbox et de la barre d'outils Spatial Analyst.

1.3.2. Inclinaison

Les données sont issues d'un MNT de type raster d'une résolution de maille de 25m « *mnt_ze* ». Au moyen de *Barre d'outils Spatial Analyst > Analyse de surface > Pente* un nouveau raster est créé au sein duquel chaque pixel de la grille prend la valeur de la pente (dans le raster original la valeur du pixel est l'altitude). Une reclassification est ensuite réalisée suivant les classes du tableau ci-dessus en utilisant *Outils Spatial Analyst > Reclassement > Reclassification*. Le Résultat est couche « *Pte_Rcl* ».

1.3.3. Orientation

Une autre information intéressante à extraire du MNT est la direction de la plus forte pente. En effet, cette dernière servira par la suite de comparaison avec l'orientation d'autres éléments tels que les parcelles, haies ou réseau routier. Cette donnée est exprimée en degrés par rapport au nord, dans le sens des aiguilles d'une montre. L'outil *Barre d'outils Spatial Analyste > Analyse de surface > Exposition* permet de réaliser ce calcul. Le résultat « *Pte_expo* » étant de type « float », il est converti en entier en utilisant *Spatial Analyst > Mathématiques > Entier*. Le résultat est la couche « *Pte_expo_int* ».

1.4. Lecture du résultat

Les valeurs d'inclinaison nous permettent de discriminer les secteurs de pente susceptibles de favoriser la genèse de ruissellements. Les valeurs d'orientation des pentes permettront par la suite de les comparer à l'orientation des tronçons de voies de communication (hors voies ferrées), pour identifier les tronçons orientés dans la pente.

Note : la BD ALTI® ne donne pas des résultats de la qualité escompté. Le traitement « pentes » génère sur les zones de faible relief des valeurs en « isoligne » induisant probablement un facteur d'erreur dans le traitement général des données. La consultation du service après-vente de l'IGN qui a examiné le problème n'a pas proposé de solutions alternatives.

2. Texture du sol

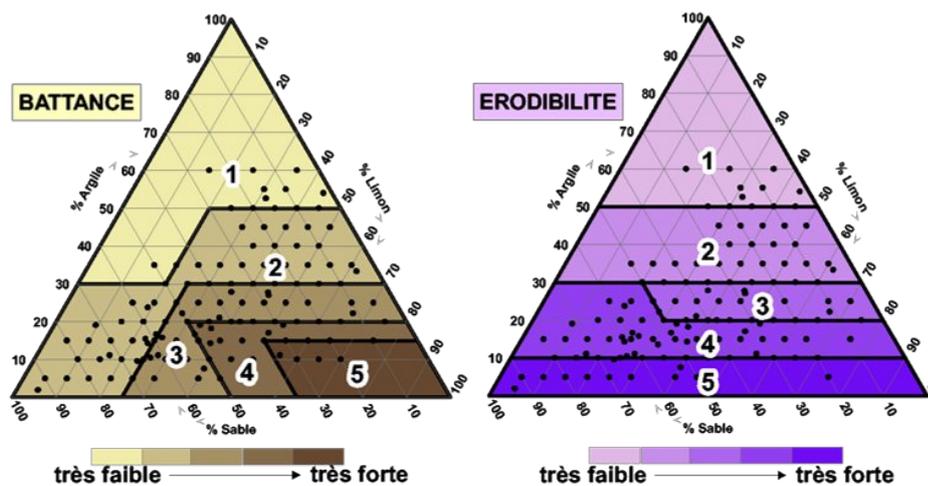
2.1. Justification du choix

La pédologie est un élément essentiel des processus d'érosion du sol. Cependant, sur la région, ces données sont très peu nombreuses et difficilement accessibles. Il est toutefois possible de télécharger sur internet (<http://www.gissol.fr/programme/bdat/bdat.php>) les données concernant la texture primaire et secondaire des sols, ainsi que le rapport Limons fins, Limons grossiers. Ces données sont à l'échelle cantonale mais à l'échelle d'un bassin versant elles peuvent apporter une nuance précieuse. Les triangles ci-dessous permettent de déterminer pour une texture de sol donnée, sa sensibilité à la battance et son érodibilité.

Or la battance traduit la sensibilité d'un sol à subir une réorganisation pelliculaire de surface sous l'action mécanique de la pluie. Cette réorganisation des particules entraîne la formation d'une croûte de battance qui conduit à une diminution de la porosité du sol voir à son imperméabilisation.

On comprend alors que la capacité d'infiltration du sol devient faible voir nulle et génère alors un ruissellement hortonien. Le triangle de gauche illustre clairement le rôle des Limons dans ce phénomène.

L'érodibilité, quant à elle, traduit la cohésion des agrégats du sol. Plus cette cohésion sera faible et plus les matériaux du sol se désagrègeront pour être emportés par le ruissellement. Le triangle de droite illustre le rôle essentiel des Argiles pour maintenir la cohésion du sol, et à l'opposé la sensibilité des Limons et des Sables.



Source : www.gissol.fr

2.2. Classification

Les couples de texture primaire et secondaire ont été positionnés sur les triangles ci-avant en fonction de leur position dans le "triangle de Tavernier". Seules les combinaisons présentes dans les données récoltées ont été prises en compte.

Couple de texture CODTEXT	Erodibilité Note	Battance Note
AL-L	3000	3000
L-AL	4000	4000
AL-A	1000	1000
AL-SA	2000	1000
AL-S	3000	2000
S-SA	4000	2000
S-AL	3000	2000
L-SA	3000	3000
L-A	3000	3000
L-S	4000	4000
SA-AL	2000	2000
AL-AS	1000	1000
A-AL	1000	1000
SA-S	4000	1000
A-AS	1000	1000
S-A	4000	2000
S-L	5000	2000
SA-A	1000	1000
S-AS	4000	3000
SA-L	3000	3000
SA-AS	2000	1000
A-L	2000	2000
A-S	2000	1000

Le positionnement de la texture limoneuse est basé en première approche sur la position de "L" dans le triangle de Tavernier. Aussi pour tenir compte de la fraction fine "Lf", la note de battance est majorée (BAT_MAJ), pour les couples de texture à dominante limoneuse, suivant les modalités du tableau ci-dessous.

Couple de texture CODTEXT	Rapport LF/LG	BAT_MAJ
AL-L | L-A | L-S	> 0,8	note + 1000
L-AL	> 0,5	note + 1000

2.3. Analyse spatiale

L'ensemble du traitement présenté ci-dessus est réalisé dans un tableur (les données sont téléchargées au format CSV). Le tableur permet de :

- transformer les fichiers CSV sous forme de tableau,
- d'assembler les données des trois départements,
- de concaténer les textures primaires et secondaires : text1-text2 = CODTEXT,
- d'affecter une note à chaque canton suivant le couple (CODTEXT),
- de calculer la majoration conditionnelle,
- d'exporter l'ensemble en DBF pour être ajouté à la couche canton du SIG.

La couche vectorielle est alors convertie en 2 rasters, l'un représentant la variable érodibilité et le second la battance (battance majorée) en utilisant [Outils de conversion > Vers Raster > Entité vers raster](#). Il en résulte les couches « erodib » et « batancm ».

La couche d'érodibilité sera ensuite aussi majorée avec la couche « Geol_01 » (voir chapitre 3). La calculatrice raster ([barre d'outils Spatial Analyst](#)) est utilisée avec la formule suivante :

```
erodibm = [erodib] + [Geol_01]
```

2.4. Lecture du résultat

En croisant les 2 variables (avec la couche vectorielle), on obtient une carte représentant la sensibilité potentielle des sols des cantons de Basse-Normandie à l'érosion hydrique. Il faut cependant noter que pour certains cantons, la donnée est absente. Par conséquent, une note moyenne (3000) leur est attribuée.

La calculatrice raster ([barre d'outils Spatial Analyst](#)) est utilisée avec la formule suivante :

```
txt = ([erodibm] + [batancm]) / 2
```

Il en résulte la couche « txt ».

3. Géologie

3.1. Justification du choix

Le processus pédogénétique est le fruit des interactions entre le substrat géologique, le climat et la végétation. Les propriétés chimiques du sol sont donc conditionnées par les éléments issus de la roche mère. L'une de ces propriétés est le pH. Le pH du sol est une mesure de la concentration en H^+ dans le sol. Puisqu'il n'y a pas un nombre infini de sites d'échanges, plus il y a de H^+ , moins il peut y avoir d'autres cations. Les cations - Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ et Na^+ - sont considérés comme étant des bases. Plus le sol est acide, moins il y a de bases⁷. Or, les cations jouent un rôle essentiel dans la stabilité structurale des sols en liant la fraction minérale et la fraction organique au sein du complexe argilo-humique. Ainsi les roches plutoniques (Granite), détritiques à base de silice (Grès, Poudingues, Sables), et leurs équivalents métamorphisés (Gneiss, Quartzite) sont susceptibles de générer des sols plus acides, donc à stabilité structurale plus faible.

Pour tenir compte de ce facteur, la note d'érodibilité obtenue à partir des textures a été majorée de 1 pour les substrats géologiques correspondants aux roches mentionnées ci-dessus.

3.2. Classification

Formations géologiques	Note
Quaternaire (alluvions)	0
Tertiaire (sables)	1000
Crétacé (Craie)	0
Jurassique inférieur et moyen (calcaire)	0
Jurassique moyen et supérieur (argiles et marnes)	0
Permo-Trias	0
Primaire (schiste, grès)	1000
Précambrien Brioverien (schistes et grès)	1000
Roches métamorphiques	1000
Granite	1000

3.3. Analyse spatiale

Après assemblage et ajustement des couches vectorielles originelles, une note a été affectée à chaque formation géologique suivant le classement ci-dessus. Cette couche est convertie en utilisant [Outils de conversion > Vers Raster > Entité vers raster](#). Le résultat est la couche « [Geol_01](#) ».

Cette dernière servira à majorer la couche « erodib » (voir chapitre 2.3).

3.4. Lecture du résultat

En suivant ce processus, on obtient une couche de sensibilité des sols à l'érosion plus juste car intégrant le paramètre pH en plus de la texture.

⁷ <http://unt.unice.fr/uoh/degsol/fertilite-chimique.php>

4. Occupation du sol

4.1. Justification du choix

L'occupation du sol est un des éléments fondamentaux de l'aléa érosion. En effet, de ce paramètre dépend l'intensité de travail du sol et l'état du couvert végétal aux différentes périodes. Ainsi les productions de céréales et d'oléagineux, qui font l'objet d'un travail du sol avec des engins agricoles souvent lourds et des labours profonds ont une note maximum (5000). Il en va de même des vignes, dont le sol est fréquemment laissé à nu et dont les rangs sont orientés dans le sens de la pente, ainsi que des plantations maraîchères ou horticoles qui font l'objet d'une récolte fréquente et d'une couverture du sol partielle. A l'inverse, les groupes de prairie permanente, fourrage ou gel sans production qui ne font pas l'objet d'un travail mécanique du sol, se voient affecter une note minimum (1000). Néanmoins, dans la mesure où un exploitant agricole pratique généralement une rotation des cultures et/ou modifie sa production suivant la conjoncture économique d'une année sur l'autre, le choix a été fait par le comité de pilotage de ne pas différencier les cultures entre elles, mais de seulement distinguer la part de surface des îlots faisant l'objet d'un retournement du sol de la part non retournée (prairie permanente). Il n'est en l'état pas possible de distinguer les cultures traitées en permaculture.

L'occupation du sol est obtenue principalement via le Relevé Parcelaire Graphique Anonymisé (RPGA) produit par l'Agence de Service et de Paiement. Ce dispositif, administré par l'Agence de Services et de Paiement (ASP), est utilisé pour la gestion des aides européennes à la surface. Les caractéristiques de ce produit sont déclarées de la manière suivante sur le site de l'ASP (www.asp-public.fr) "...Un îlot correspond à un ensemble contigu de parcelles culturales exploitées par un même agriculteur. Le dessin des îlots est mis à jour chaque année par les agriculteurs sur la base de l'orthophoto de l'Institut Géographique National (BD ORTHO® de l'IGN). La précision géographique du RPG correspond généralement à l'échelle du 1:5000 et sauf exception, il n'y a pas de recouvrements entre les îlots déclarés une même année. Par ailleurs, par le biais des déclarations, chaque îlot est associé à un ensemble de données alphanumériques liées à l'occupation du sol (nature de la culture et surface) ou aux caractéristiques de l'exploitation...".

Un élément important est à noter, chaque îlot peut contenir plusieurs groupes de cultures. Ce facteur est pris en compte dans le processus de traitement présenté ci-après.

D'autre part, les îlots du RPGA ne couvrant par définition que les zones agricoles, la couche « boisements » de la BD Topo et le référentiel européen Corine Land Cover (codes 311, 312, 313, 322, 324) sont utilisés pour compléter la couche occupation du sol et ainsi éviter de fausser la note au moment de l'intégration au sein des unités spatiales choisies. Des données nettement plus précises sont disponibles auprès de l'IFN. Ces données permettraient d'apporter un traitement différencié en fonction de la nature des peuplements et des modes d'exploitation. Cependant, le coût d'acquisition de ces données à l'échelle du territoire traité disqualifie leur utilisation.

Notons, que la mise à jour des données avec le RPGA 2012 fait apparaître localement des lacunes importantes (absence d'îlots) alors que ces espaces ne sont ni des espaces urbanisés ni des forêts et qu'ils étaient couverts par la version précédemment utilisée (2009). Un complément est donc réalisé à partir des données agricoles de Corine Land Cover en utilisant les codes 211, 222, 231, 242 et 243.

Enfin, la surface cultivée (labourée) et la surface non cultivée (sans labour) sont calculées au moment du processus d'importation des données.

4.2. Classification

Le tableau ci-dessous reproduit l'ensemble des groupes de cultures tels que définis au sein du RPGA 2012 fourni par l'ASP via l'Agence de l'Eau Seine-Normandie et l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne.

Identifiant du groupe	Libellé du groupe de cultures	Note
1	Blé tendre	5000
2	Maïs grain et ensilage	5000
3	Orge	5000
4	Autres céréales	5000
5	Colza	5000
6	Tournesol	5000
7	Autres oléagineux	5000
8	Protéagineux	5000
9	Plantes à fibres	5000
10	Semences	5000
11	Gel (surfaces gelées sans production)	1000
12	Gel industriel	5000
13	Autres gels	5000
14	Riz	5000
15	Légumineuses à grain	5000
16	Fourrage	1000
17	Estives landes	1000
18	Prairies permanentes	1000
19	Prairies temporaires	5000
20	Vergers	1000
21	Vignes	5000
22	Fruits à coque	1000
23	Oliviers	1000
24	Autres cultures industrielles	5000
25	Légumes-Fleurs	5000
26	Canne à sucre	1000
27	Arboriculture	1000
28	Divers	5000
	Hors RPGA	
	Boisements et autre	1000

Code CLC	Libellé	Note
211	Terres arables hors périmètres d'irrigation	5000
222	Vergers et petits fruits	1000
231	Prairies	1000
242	Systèmes culturaux et parcellaires complexes	3000
243	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants	3000

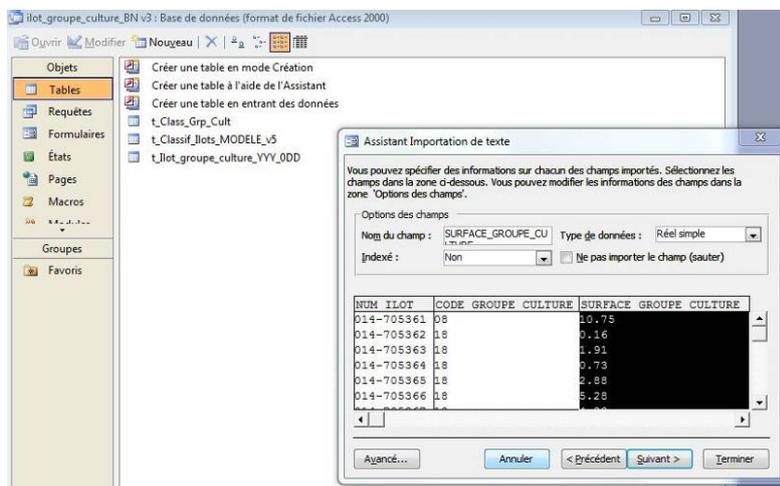
4.3. Traitement des données et analyse spatiale

La représentation spatiale des îlots est fournie par un fichier Shape (.shp), format natif d'ArcGIS® et importable par de nombreux autres logiciels de SIG. Les données attributaires (identifiant, groupes de cultures, surfaces) sont fournies au format CSV (séparateur par point-virgule dans ce cas précis).

4.3.1. Déroulement du traitement dans Système de Gestion de Base de données relationnelles (SGBDR)

Afin d'identifier la culture dominante, il faudra réaliser une analyse croisée, de manière à avoir en ligne (enregistrements) les identifiants des îlots et en colonne (enregistrements) les groupes de culture. A l'intersection, nous retrouverons dans la cellule la surface du groupe de culture dans l'îlot correspondant. Cependant, les fichiers CSV étant très volumineux, ils ne pourront pas être ouverts par Ms-Excel ou Libre Office Calc (limités à 65536 lignes), il faudra donc importer les fichiers CSV dans un SGBDR (ex : Ms-Access).

Note : Dans le cadre d'une utilisation de Ms-Access, un programme VBA a été développé pour pouvoir traiter automatiquement les données importées et en extraire différentes informations. Les étapes du processus sont détaillées ci-dessous.



Pour intégrer les données à la couche, il faut les traiter avec la base Access "ER_CATERBN_Traitement_RPGA"

1 - Importer les tables des données départementales en les nommant : t_îlot_groupe_culture_YYYY_ODD (YYYY est l'année et DD le numéro du département)

Fichier > Données externes > Importer > ILOTS-ANONYMES-GROUPES-CULTURE_ODD.csv

Cocher la case "Première ligne contient le nom des champs"

Types de champs à l'importation :

- NUM_ILOT : Texte

- CODE_GROUPE_CULTURE : Entier court
- SURFACE_GROUPE_CULTURE : Réel simple

Laisser Access ajouter une clé primaire.

2 - Réaliser sur chacune des tables créées à l'étape 1, une requête "Analyse croisée" (voir annexe n°2). - Il est possible de s'aider du modèle de "rmod_llot_grp_cult_YYYY_ODD_croisee".

- Faire un copier/coller de la table modèle en changeant le nom (année et département) ;
- Passer en mode création pour utiliser la table source "t_llot_groupe_culture" du département correspondant ;
- Changer le nom de la table source dans les menus déroulants table des 3 colonnes ;
- Supprimer la table "tmod_llot_groupe_culture_YYYY_ODD" ;

3 - Créer une table destinataire avec les champs (ex : t_Classif_Ilots_Année_v5). Il est possible de se servir du modèle. Copier "tmod_Classif_Ilots_MODELE_v5" pour la renommer en "t_Classif_Ilots_2012" (ou d'une autre année le cas échéant).

- ID_ILOT : Identifiant de l'îlot ;
- DEP : Département ;
- OCCSOL1 : Groupe de culture principal ;
- S_OS1 : Surface (ha) du groupe de culture principal ;
- P_OS1 : Part du groupe de culture principal (S_OS1/SURFCULT) ;
- OCCSOL2 : Groupe de culture secondaire ;
- S_OS2 : Surface (ha) du groupe de culture secondaire ;
- P_OS2 : Part du groupe de culture secondaire (S_OS2/SURFCULT) ;
- OCCSOL3 : Groupe de culture tertiaire ;
- S_OS3 : Surface (ha) du groupe de culture tertiaire ;
- P_OS3 : Part du groupe de culture tertiaire (S_OS3/SURFCULT) ;
- NB_GRP : Nombre de groupes de cultures identifiés dans l'îlot ;
- SURFCULT : Somme des surfaces (ha) des groupes de cultures de l'îlot ;
- SURFC : Somme des surfaces (ha) des groupes de cultures impliquant un travail du sol ;
- SURFNC : Somme des surfaces (ha) des groupes de culture impliquant un travail du sol ;
- NOTEPOND : Note pondérée de l'occupation du sol avant arrondi ;
- NOTE_SURF : Note de "risque" de 1 à 5 attribuée en fonction de SURFCULT ;

4 - Créer la table de classification faisant correspondre les groupes de cultures et leur note (t_Class_Grp_Cult) ;

- NUM_GRP_CULT : Numéro identifiant du groupe de cultures ;
- LIB_GRP_CUL : Libellé du groupe de cultures ;
- NOTE : Note correspondante ;

5 - Lancer le processus de traitement pour chaque requête d'analyse croisée d'une même année.

Les champs OCCSOL, S_OS et P_OS n'entrent pas dans la composition de la note finale. Ces champs ne sont calculés qu'à but informatif pour un traitement complémentaire parallèle.

La note calculée pour chaque îlot correspond à la moyenne pondérée des notes des surfaces impliquant un travail du sol (SURFC avec note = 5000) et des surfaces sans travail du sol (SURFNC avec note = 1000).

Règle d'arrondissement de la
moyenne pondérée : 1,50 = 1 et
1,51 = 2

Calculer le champ "RATIO NC" (rapport entre surfaces cultivées et non cultivées) en exécutant la requête de mise à jour "Calcul du Ratio NC Classif_Ilots_2012". Si besoin, la copier et l'éditer en mode création pour une autre année.

4.3.2. Déroulement du traitement sous SIG

Occupation du sol à partir du RPGA

Les données du RPGA étant livrées par département, il faut assembler l'ensemble des îlots de la zone d'étude en utilisant : [Outils de gestion de données > Général > Ajouter](#) (traite ensemble des couches pour en faire une seule). Puis [Outils d'analyse > Extraire > Découper](#) (couche de découpage « ZoneEtude »). Il en résulte la couche « [rpga_2012_ze](#) ».

Une jointure entre la couche « [rpga_2012_ze](#) » et la table « [t_Classif_Ilots_2012](#) » permet de représenter les 2 notes calculées avec Ms Access. Cette couche est convertie en raster deux fois, une fois sur la base du champ [NOTE_OCCSOL](#) et une fois sur la base du champ [NOTE_SURF](#), en utilisant : [Outils de conversion > Vers raster > Entité vers raster](#). Après un reclassement à 0 de leurs valeurs NoData, ces 2 couches deviennent respectivement « [Ocsrpga_nd0](#) » et « [Surflot_nd0](#) ». Contrairement à la couche de surface des îlots (voir chapitre 5), la couche d'occupation du sol du RPGA n'est pas une couche d'intégration. Il est nécessaire de la compléter avec les couches des boisements de la BD TOPO et de Corine Land Cover, puis un complément agricole de cette dernière.

NOTE : Sur les couches de base, les valeurs 0 sont mises à 1000 et NoData est mis à 0, car à ce stade le 0 peut être une simple lacune de données et la note minimale est attribuée. Par la suite dans les phases d'agrégation, les valeurs 0 restent à 0.

Occupation du sol à partir de la BD TOPO

Comme pour le RPGA, les données de la BD TOPO sont livrées par département qu'il faut donc assembler pour traiter un jeu de données unique sur l'ensemble de la zone d'étude. Cependant, compte tenu du nombre d'entités à traiter, il est préférable de passer préalablement en mode raster. Ainsi, chaque couche départementale est convertie en raster (ex : [rVEG14](#)) en utilisant : [Outils de conversion > Vers raster > Entité vers raster](#). Pour chaque couche, les valeurs NoData sont reclassées à 0 en utilisant : [Outils Spatial Analyst > Reclassement > Reclassification](#).

Il en résulte pour chaque département un fichier de type "[rVEGXX_nd0](#)" où XX est le numéro du département. Les couches "[rVEGXX_nd0](#)" sont ensuite assemblées en utilisant : [Outils de gestion de données > Raster > Jeux de données raster > Mosaïque vers un nouveau raster](#). Le type de pixel est "8 Bit non signé", le résultat est "[rVEG_nd0](#)". La méthode du mosaïquage est "Maximum" pour le cas où un pixel de donnée se superposerait avec un NoData à 0. La couche obtenue est réduite à la zone d'étude en utilisant [Outils Spatial Analyst > Extraction > Extraction par masque](#) (le masque est « [ZoneEtude](#) »). Il en résulte la couche « [rVEG_ze](#) ».

Occupation du sol à partir de Corine Land Cover

La couche Corine Land Cover France 2006 (44 postes) est découpée sur la zone d'étude pour créer la couche « [CLC06_ze](#) ». Après sélection, les postes « forestiers » de niveau 1 sont convertis en raster en utilisant : [Outils de conversion > Vers Raster > Entité vers raster](#). Les codes CLC étant de type texte, ils sont sélectionnés sur la base du premier caractère « [CLC06 LIKE '3%'](#) ». Il en résulte le raster « [clc_foret](#) », qui est reclassé en « [clc_foret_nd0](#) » où toutes les surfaces forestières sont à 1 et NoData à 0.

Une couche complémentaire est réalisée à partir des données agricoles de Corine Land Cover en utilisant la classification du paragraphe 4.2. Le résultat après conversion en raster (voir ci-dessus) est reclassé avec NoData à 0. Il en résulte la couche « `clc_agri_nd0` ».

Ces 2 couches, forestière et agricole, viendront compléter de la manière la plus pertinente possible les couches BD TOPO et RPGA. Par ailleurs, la couche « `clc_foret_nd0` » sera aussi utilisée pour soustraire les forêts de « `rVEG_ze` » (BD TOPO) et ne conserver que les éléments arborés du bocage.

Assemblage des couches d'occupation du sol

Les deux couches forestières sont assemblées avec la calculatrice raster en ajoutant « `rVEG_ze` » et « `clc_foret_nd0` ». Pour éviter un reclassement ultérieur, on utilise une structure conditionnelle.

```
ZArb =CON([rVEG_ze] + [clc_foret_nd0] >= 1 , 1 , 0)
```

La couche définitive d'occupation du sol est créée avec la calculatrice raster en ajoutant « `ZArb` », « `Ocsrpga_nd0` » et « `clc_agri_nd0` ». La condition donne la priorité à la valeur de la zone arborée afin de préserver les "inclusions" bocagères au sein des îlots. La couche agricole de Corine Land Cover vient boucher les trous.

```
OccSol_nd0 = CON([ZArb] == 1 , 1000 , CON([ocsrpga_nd0] <> 0 , [ocsrpga_nd0] , [clc_agri_nd0]))
```

4.4. Lecture du résultat

La couche « `OccSol_nd0` » représente une couche de spatialisation de l'aléa ruissellement érosif en fonction du paramètre occupation du sol. Ce paramètre intègre les données les plus fines (RPGA) complétées par des données plus génériques (BD TOPO et CLC). Cette couche sera assemblée avec la couche de notation de la surface des îlots.

5. Surface de l'îlot

5.1. Justification du choix

Le paramètre de surface joue ici un rôle d'amplificateur en termes de ruissellement. Plus la surface sera élevée, plus la lame ruisselante augmentera sa compétence et donc sa capacité d'arrachement des particules du sol. Afin de tenir compte de la fragmentation possible de l'îlot et ne pas surestimer ce facteur, la note finale d'agrégation sera pondérée par une densité de bocage calculée par unité spatiale d'intégration.

5.2. Classification

Classes de surface (ha)	Note
< 1	1
[1 - 2 [	2
[2 - 5 [	3
[5 - 10 [	4
>= 10	5

5.3. Analyse spatiale

La note de la surface est calculée dans le processus d'importation des données du RPGA (voir le détail au paragraphe 4.3.1).

RAPPEL : Une jointure entre la couche "rpga_2012_ze" et la table "t_Classif_îlots_2012" permet de représenter les 2 notes calculées avec Ms Access. Cette couche est convertie en raster deux fois, une fois sur la base du champ NOTE_OCCSOL et une fois sur la base du champ NOTE_SURF, en utilisant : Outils de conversion > Vers raster > Entité vers raster. Après un reclassement à 0 de leurs valeurs NoData, ces 2 couches deviennent respectivement « Ocsrpga_nd0 » et « Surfîlot_nd0 ».

Contrairement à la couche d'occupation du sol du RPGA (voir chapitre 4), la couche de surface des îlots est une couche d'intégration.

5.4. Lecture du résultat

La carte produite représente une classification spatiale de l'intensité potentielle du ruissellement liée à la surface de chaque îlot. Cette couche sera assemblée avec la couche de notation de l'occupation du sol.

6. Intensité de connexion de l'îlot

6.1. Justification du choix

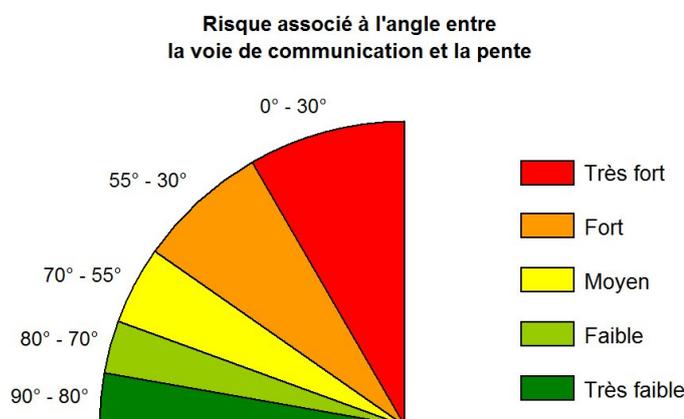
Dans le contexte d'un risque de contamination des cours d'eau résultant d'un processus de ruissellement, le fait de pouvoir déterminer si cet écoulement persistera jusqu'au cours d'eau est un facteur essentiel. On distingue 3 types de connexion. La connexion directe, indirecte et l'absence de connexion. La connexion directe intervient lorsque la source du ruissellement se produit sur une parcelle contiguë au cours d'eau. La connexion indirecte intervient lorsque l'écoulement résultant d'une parcelle transitera par une autre parcelle, une route ou un fossé avant de rejoindre le cours d'eau. L'absence de connexion signifie que les éléments observés suggèrent une infiltration ou une rétention de l'écoulement avant de rejoindre le cours d'eau.

En phase de pré-identification, la connexion directe est appréciée par l'identification des îlots situés à une distance de 15 m des cours d'eau. L'intensité de la connexion indirecte est appréciée d'une part par l'identification des îlots situés à une distance de 150 m du cours d'eau, et d'autre part au travers de la proximité d'une parcelle ou d'un îlot avec une voie de communication à risque. Cette approche part de l'hypothèse qu'une voie de communication est le plus souvent accompagnée d'un fossé pour l'évacuation des eaux pluviales. Par ailleurs, même s'il n'y a pas de fossé, la route ou le chemin en lui-même est susceptible de diriger les écoulements vers le cours d'eau, selon que la voie de communication est plus ou moins orientée dans la pente. Une voie de communication "à risque" est déterminée par le rapport entre l'orientation de la pente et l'orientation du tronçon de la voie de communication. Ainsi, un angle de 0° signifie que le tronçon de la voie de communication est parallèle à la pente et un angle de 90° que le tronçon est perpendiculaire à la pente. Dans ce dernier cas, la présence d'un fossé serait plutôt un facteur positif car ce dernier pourrait "stocker" au moins temporairement le ruissellement collecté.

6.2. Classification

6.2.1. Réseau routier (connexion indirecte)

Classes d'angle (°)	Note
[90 - 80 [	1000
[80 - 70 [	2000
[70 - 55 [	3000
[55 - 30 [	4000
[30 - 90 [	5000



6.2.2. Notes de connexion

Réseau de référence	Distance	Note
Cours d'eau	15m	5000
Cours d'eau	150m	4000
Routes connectées	30m	3000
Autre îlots	-	2000

6.3. Analyse spatiale

Au sein de la couche des îlots du RPGA « `rpga_2012_ze` », 5 champs de type entier sont créés :

- TH15m : Identification des îlots à 15m du réseau hydrographique
- TH150m : Identification des îlots à 150m du réseau hydrographique
- NOTE_TH : Note des îlots en fonction de sa distance au cours d'eau
- NOTE_TRC : Note des îlots via les tronçons routiers connectés
- NOTE : Note finale des îlots

6.3.1. Connexions directes

Les connexions appréciées vis-à-vis de la distance au cours d'eau sont les plus simples à calculer. Un champ NOTE_TH est créé dans la table des îlots et les îlots sont sélectionnés vis-à-vis de la distance au cours d'eau avec un tampon de 15 m puis un tampon de 150 m. A l'issue de chaque sélection, la note est affectée aux îlots sélectionnés. Le réseau hydrographique pris en compte est ici la couche « cours d'eau » de la BD CarTHAgE®. Bien que la couche « tronçons hydrographiques » de la BD TOPO® présente un intérêt indéniable en termes de précision et d'exhaustivité, il n'est pas envisageable de l'utiliser dans le processus. Le nombre d'objets (tronçons) concernés à l'échelle d'analyse est trop important (environ 150 000 objets) à croiser avec plusieurs dizaines de milliers d'îlots cultureux. Le processus utilise l'outil de [sélection par entités](#) avec l'opérateur d'[intersection](#) en appliquant un [tampon](#) exprimé en mètres.

Sélectionner les îlots à 15m du réseau hydrographique et attribuer la valeur 1 au champ TH15m.

Sélectionner les îlots à 150m du réseau hydrographique et attribuer la valeur 1 au champ TH150m.

Le champ NOTE_TH est calculé en mode avancé en utilisant le script ci-dessous :

```
Dim note as integer
If [TH15m] = 1 Then
    note = 5
else
    If [TH15m] = 0 AND [TH150m] = 1 Then
        note = 4
    else
        note = 0
    end if
end if
-----
Affectation de la valeur
NOTE_TH = note
```

6.3.2. Connexions indirectes

L'appréciation des connexions indirectes par les voies de communications utilise le script de calculatrice de champ « `polyline_Get_Azimuth_9x.cal` » de la bibliothèque « Easy Calculate 5.0 » de « ET Spatial Techniques »⁸ et l'outil "Exposition" de l'extension "Spatial analyst". Les 2 outils permettent respectivement d'attribuer un azimuth à une polyligne et de créer un raster d'orientation des pentes à partir du MNT. Les 2 valeurs en sortie sont comprises entre 0° et 360°. Pour la polyligne, la valeur dépend du sens de numérisation. La couche « Routes » est issue de la BD TOPO®. Cette couche contient à la fois les routes, chemins et sentiers. Compte tenu du nombre d'objets impactés par ce traitement, les corrections et comparaisons ne seront pas réalisées en mode vectoriel, mais avec la calculatrice raster. Les routes des différents départements sont assemblées en utilisant : [Outils gestion de données > Général > Justaposer](#). Le résultat est découpé par la couche « ZoneEtude ». Il en résulte la couche « `routes_ze` ». Dans la table attributaire, un champ GEOANGLE de type entier est créé. Au sein de ce champ, le script « `polyline_Get_Azimuth_9x.cal` » calcule l'azimut de chaque tronçon de route. La couche « `routes_ze` » est convertie en raster en utilisant [Outils de conversion > Vers Raster > Entité vers raster](#) avec le champ GEOANGLE comme valeur. Ce raster doit être de type Entier. Il en résulte la couche raster « `rast_azo` ».

L'outil d'extraction par masque (avec pour masque la couche « `routes_ze` ») permet de transformer les zones de pente « `Pte_expo_int` » (voir paragraphe 1.3.3) en éléments linéaires raster en utilisant : [Outils Spatial Analyst > Extraction > Extraction par masque](#) (le masque est « `routes_ze` »). Il en résulte la couche « `rast_azp` ».

Les orientations étant codées sur 360°, pour pouvoir comparer les angles, il est nécessaire d'établir un processus de correction présenté ci-après :

- Soit « `rast_azo` » le raster "réseau routier" d'orientation des routes (azimut de l'objet)
- Soit « `rast_azp` » le raster "réseau routier" d'exposition des pentes (azimut de la pente)
- Soit `azoc` l'azimut de l'objet corrigé
- Soit `azpc` l'azimut de la pente corrigé
- Soit `alpha` l'angle entre `azoc` et `azpc`
- Soit `alphac` l'angle entre `azoc` et `azpc` corrigé
- Si « `rast_azp` » > 180 alors `azpc` = « `rast_azp` » - 180 Sinon `azpc` = « `rast_azp` »
- Si « `rast_azo` » > 180 alors `azoc` = « `rast_azo` » - 180 Sinon `azoc` = « `rast_azo` »
- Si `alpha` > 90 alors `alphac` = 180 - `alpha` Sinon `alphac` = `alpha`

Chaque calcul ci-dessous est réalisé un à un dans la calculatrice raster. Ce symbole « ~ » permet un renvoi à la ligne dans le code.

```
azoc = Abs(CON ([rast_azo] > 180 , [rast_azo] - 180 , [rast_azo]))
```

```
azpc = CON ([rast_azp] > 180 , [rast_azp] - 180 , ~
CON ([rast_azp] < 0 , 999 , [rast_azp]))
```

```
alpha = CON ([azpc] == 999 , 999 , Abs([azpc] - [azoc]))
```

```
alphac = CON ([alpha] == 999 , 999 , CON ([alpha] > 90 , ~
180 - [alpha] , [alpha]))
```

⁸ http://www.ian-ko.com/free/free_arcgis.htm

```
note_cxind = CON ([alphac] == 999 , 1 , ~  
CON ([alphac] <= 90 & [alphac] > 80 , 1 , ~  
CON ([alphac] <= 80 & [alphac] > 70 , 2 , ~  
CON ([alphac] <= 70 & [alphac] > 55 , 3 , ~  
CON ([alphac] <= 55 & [alphac] > 30 , 4 , 5))))
```

La couche « **note_cxind** » est reclassée sur la valeur ALPHAC telle que les valeurs de 3 à 5 deviennent 1 et les autres 0. Il en résulte la couche « **cxind_01** ».

A partir de « **cxind_01** », un « **groupement par région** » permet d'affecter un identifiant unique pour un ensemble de cellules contiguës. Le reclassement du raster permet de transformer les cellules de valeur 0 en NoData et donc de ne conserver que les cellules de valeur 1. Il en résulte le raster « **rte_connect** ». Ce raster est vectorisé en ne conservant que les arcs supérieurs ou égaux à 160m en utilisant : **Outils de conversion > A partir d'un raster > Raster vers polygones**. Il en résulte la couche « **routes_connectees** ».

Sur la couche « **COURS_D_EAU_ze** », l'outil **Tampon** avec un **rayon de 75m** pour tenir compte d'une marge d'erreur équivalente à 3 mailles, permet de créer la couche « **COURS_D_EAU_ze_B75m** ». L'outil de **sélection par entités**, appliqué à la couche « **routes_connectees** », avec l'opérateur **d'intersection** permet d'identifier le réseau routier connecté au réseau hydrographique. Après inversion de la sélection les tronçons non connectés sont supprimés.

L'outil de **sélection par entités**, appliqué à la couche « **rpga_2012_ze** », avec l'opérateur **d'intersection**, avec une tolérance (tampon) de 30m par rapport à « **routes_connectees** », permet d'identifier les îlots connectés indirectement. Le champ NOTE_TRC est calculé avec attribution de la valeur 3. Les îlots n'intersectant aucune zone sont considérés comme a priori très faiblement connectés et prennent la valeur 2. Une déconnexion totale n'est a priori pas possible.

Le champ NOTE est finalement calculé en mode avancé en utilisant le script ci-dessous :

```
Dim note as integer  
If [NOTE_TH] <> 0 Then  
    note = [NOTE_TH] * 1000  
else  
    If [NOTE_TRC] <> 0 Then  
        note = [NOTE_TRC] * 1000  
    else  
        note = 2000  
    end if  
end if  
-----  
Affectation de la valeur  
NOTE = note
```

La couche « [rpga_2012_ze](#) » est convertie en raster en utilisant : [Outils de conversion](#) > [Vers Raster](#) > [Entité vers raster](#) sur la base du champ NOTE. Il en résulte la couche « [Conex](#) ».

6.4. Lecture du résultat

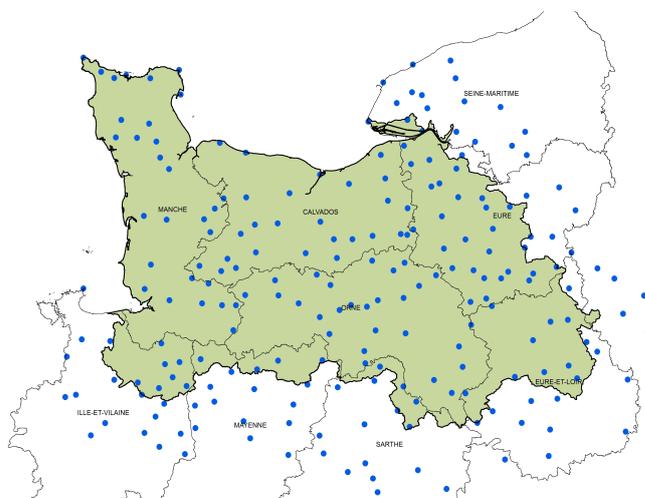
La couche obtenue caractérise l'aléa de l'intensité de connexion, directe ou indirecte, du ruissellement d'un îlot vers le cours d'eau. Cette couche « [Conex](#) » sera associée à la couche « [Pentes](#) » pour donner la couche d'intégration « [CnxPte](#) ».

7. Pluviométrie

7.1. Justification du choix

Les précipitations sont, par définition, à la base des phénomènes de ruissellement. Si les valeurs n'évoluent pas de manière significative d'un îlot à l'autre, en revanche des différences significatives peuvent apparaître entre l'amont et l'aval de grands bassins et en fonction des saisons. Ces données permettront de déterminer les zones et les saisons potentiellement plus sensibles à la genèse des phénomènes de ruissellement. La bibliographie étudiée et le comité de pilotage consulté dans le cadre de l'élaboration de ce protocole suggèrent d'utiliser les valeurs de précipitations en « nombre de jours par an avec des précipitations supérieures à 10mm ». Cette donnée traduit des phénomènes intenses susceptibles de saturer rapidement les couches superficielles du sol et de générer une lame ruisselante.

Les données fournies par le centre MétéoFrance de Rennes sont sous la forme d'un fichier Ms-Excel contenant les coordonnées des stations (218) en Lambert II Etendu (en hectomètres), l'identifiant de la station et les valeurs mensuelles et annuelles du nombre de jour dont les précipitations sont supérieures à 10mm. La période échantillonnée va de 1981 à 2000. Il faut noter que plus le nombre de stations prises en compte est important, pour améliorer l'interpolation et l'étendue spatiale couverte, plus l'étendue de la période échantillonnée est faible. En effet, toutes les stations ne disposent pas d'un historique de données équivalent (répartition des stations ci-dessus).



7.2. Classification

Classes de précipitation (mm)	Note
[0 - 5 [	1000
[5 - 7,5 [	2000
[7,5 - 10 [	3000
[10 - 12,5 [	4000
[12,5 - 15 [	5000

7.3. Analyse spatiale

Les données sont livrées au format CSV. Après un import dans excel, les données sont regroupées par station et par saison dans un tableau croisé dynamique incluant les coordonnées des stations multipliées par 100 pour en faire passer au système Lambert 2 étendu métrique. La couche des stations est générée à partir de ce tableau en utilisant : **Outils > Ajouter des données XY**. Puis elle est exportée dans le système de coordonnées du bloc de données (Lambert 93). Le résultat est la couche « **StationsMeteo_L93_nbjRR10** ».

A partir du semi de points des stations « **StationsMeteo_L93_nbjRR10** », une interpolation par krigeage est réalisée en utilisant : **Outils Spatial Analyst > Interpolation > Krigeage**. Comme l'illustre la carte au paragraphe 7.1, les stations débordent de la zone d'étude pour éviter les effets de marge lors de l'interpolation. Le masque d'analyse doit être plus large, les paramètres d'environnement de Arctoolbox sont donc basés cette fois sur « **mnt_tt_dept** ». C'est le MNT source de « **mnt_ze** » qui couvre l'emprise de l'ensemble des départements et pas seulement la zone d'étude.

L'interpolation est réalisée sur le champ "Automne", les paramètres par défaut sont conservés

- Méthode de krigeage : Ordinaire
- Modèle de semi-variogramme : Sphérique
- Taille de cellule : 25m
- Rayon de recherche : variable
- Nombre de points : 12

Il en résulte la couche « **k_nbrrj10_aut** ». Cette dernière est reclassée suivant le tableau du paragraphe 7.2. Le reclassement est réalisé avec les paramètres d'environnement Arctoolbox habituels pour réduire le jeu de données à la zone d'étude. Il en résulte la couche « **Pluv_Rcl** ».

7.4. Lecture du résultat

La carte représente, pour la saison automnale et pour un point donné du territoire le nombre de jours (période de 24h) recevant un cumul de précipitation supérieure ou égale à 10mm. Cette couche sera associée à la couche des textures de sol pour donner la couche d'intégration « **TxtPluv** ».

8. Densité bocagère

8.1. Justification du choix

Plusieurs paramètres comme la connexion au cours d'eau, la pente ou la surface des îlots sont susceptibles d'être minorés dans les zones bocagères de part le rôle fondamental que peuvent jouer les haies et talus. Dans la mesure où il n'existe pas de données suffisamment fiables à grande échelle concernant le maillage bocager, ce paramètre sera considéré comme une tendance calculée à l'échelle de l'unité spatiale d'intégration considérée (USI de niveau 1 et USI de niveau 2). Cette tendance prend la forme d'une densité bocagère exprimée en km/km². Cette valeur vient minorer la note finale d'agrégation avant l'intégration finale par unité spatiale d'intégration. Dans le cadre du programme « Breizh Bocage », la maille bocagère idéale est considérée comme située entre 4 à 6 ha. En effet, au-delà de cette surface, l'augmentation de surface n'apporte plus de gain de productivité. L'accroissement de la surface n'est donc plus justifié. L'hypothèse de travail est donc la suivante : on considère une maille théorique de 4 ha soit une maille carrée de 200m de côté. Un kilomètre carré de maille de quatre hectares produit donc 12km de haie bocagère. Cependant cette donnée étant relativement ancienne le comité de pilotage a décidé de ramener cette densité optimale à 10km/km².

8.2. Classification

Classes de densité (km/km ²)	Minoration de la note
7 <	0
[7 - 10 [	-0,75
>= 10	-1

8.3. Analyse spatiale

Le principe consiste à soustraire de la BD TOPO les principaux grands boisements (forêts) codifiés par Corine Land Cover. Puis une surface de boisement est calculée par USI. Cette surface est ramenée en linéaire (km) par kilomètre carré d'USI. Pour ramener la surface en linéaire on considère une largeur moyenne 15m pour un houppier de haie. Notons qu'une largeur de 10m serait plus juste. Cependant, dans la mesure où la couche de bocage ne contient pas que des haies, mais conserve des surfaces de petits bois, la largeur de houppier est augmentée pour ne pas surévaluer le linéaire. Le calcul est réalisé avec la calculatrice raster sous la forme d'une expression conditionnelle à partir de la couche « `clc_foret_nd0` » et de la couche « `rVEG_ze1` ».

Note : une approche plus fine pourrait être réalisée en utilisant le critère "Haie", cependant ce niveau de précision n'est pas encore disponible dans les données BD TOPO des départements 28 et 35 où seul l'attribut "zone arborée" est présent. Par conséquent, l'ensemble du jeu de données doit être traité selon le plus petit dénominateur commun qui en matière de distinction des forêts des autres boisements passe par Corine Land Cover. De fait, les plus petits éléments du type : bois, vergers, peupleraies, landes se retrouvent comptabilisés dans la couche « Bocage ».

```
Bocage = CON( [clc_foret_nd0] == 1 , 0 , CON([rVEG_ze] >= 1 , 1 , 0) )
```

Les couches des unités spatiales d'intégration sont converties en raster en utilisant : [Outils de conversion > Vers Raster > Entité vers raster](#) sur la base le champ ID2_SZH pour les USI de niveau 1et sur la base du champ EU_CD pour les USI de niveau 2. Il en résulte respectivement les couches « rUSI1 » et « rUSI2 ».

Le taux de bocage par USI est calculé en utilisant : [Outils Spatial Analyst > Zonaux > Statistiques zonales \(table\)](#) à partir de la couche « Bocage » avec les couches « rUSI1 » et « rUSI2 » comme zones. Il en résulte respectivement les tables « st_boc_rUSI1 » et « st_boc_rUSI2 » qui sont exportées vers « Stats_Bocage_USI1.dbf » et « Stats_Bocage_USI2.dbf ».

Dans les tables résultantes, on obtient pour chaque zone (USI) la somme (SUM) qui représente le nombre de mailles « Bocage » chacune valant 1. Chaque maille faisant 625m² nous pourront calculer la surface de bocage de chaque USI.

Au sein de la table attributaire de la couche d'unité spatiale d'intégration, 4 champs de type réels doubles sont créés :

- AREAKM2 : Surface de l'USI en km²
- BOCAKM2 : Surface de bocage en km²
- BOCAKM : Linéaire de bocage en km
- BOCATX : Taux de bocage en km/km²
- MINOR : Note de minoration

Pour chacune des couches vectorielles des USI les tables de statistiques sont jointes :

- « USI1_BnPlus_L93 » jointure avec « Stats_Bocage_USI1.dbf » sur ID2_SZH
- « USI2_BnPlus_L93 » jointure avec « Stats_Bocage_USI2.dbf » sur EU_CD

Calcul du champ BOCAKM2 (une maille de 25 x 25m = 625m² soit 0,000625km²)

$$\text{BOCAKM2} = [\text{Stats_Bocage_USI1.SUM}] * 0.000625$$

Calcul du champ BOCAKM en considérant une largeur moyenne de houppier de 15m soit 0,15km

$$\text{BOCAKM} = [\text{USI1_BnPlus_L93.BOCAKM2}] / 0.015$$

Calcul du champ BOCATX

$$\text{BOCATX} = [\text{USI1_BnPlus_L93.BOCAKM}] / [\text{USI1_BnPlus_L93.AREAKM2}]$$

Calcul du champ MINOR en mode avancé :

```
Dim minor as double
If [USI1_BnPlus_L93.BOCATX] > 10 Then
    minor = 1
Elseif [USI1_BnPlus_L93.BOCATX] >= 7 Then
    minor = 0.75
Else
    minor = 0
Endif
```

Affectation de la valeur

MINOR = minor

Note : dans le calcul des valeurs, le séparateur de décimal est « . ». Les coefficients de minoration sont plus importants car la densité bocagère de la BD TOPO est plus importante dans sa version 2014.

Chaque couche est convertie en raster sur la base du champ MINOR en utilisant : [Outils de conversion > Vers Raster > Entité vers raster](#). Il en résulte les couches « CM_USI1 » et « CM_USI2 ».

8.4. Lecture du résultat

La couche produite représente le nombre de points de minoration de la note finale en fonction de l'écart de la densité bocagère de l'USI au regard de la densité théorique de référence de 10 km/km². Cette couche sera utilisée en phase finale du processus d'agrégation des couches.

9. Surfaces urbanisées

9.1. Justification du choix

La note finale des USI est une note moyenne pondérée par la surface. Au sein de certaines USI, les surfaces urbanisées peuvent représenter proportionnellement des surfaces importantes. Par ailleurs, nous considérons dans le cadre de cette démarche que les surfaces urbanisées doivent être équipées de dispositifs de collecte des eaux pluviales et d'espaces tampon entre les surfaces de collecte et le milieu récepteur. Par conséquent, ces zones sont soustraites juste avant le calcul de la note finale des USI.

9.2. Analyse spatiale

La couche des surfaces urbanisées est composée de la couche Corine Land Cover France 2006 (44 postes) et de différentes couches de la BD TOPO.

9.2.1. Corine Land Cover

A partir de la couche « CLC06_ze », les postes « urbain » de niveau 1 sont convertis en raster en utilisant : [Outils de conversion > Vers Raster > Entité vers raster](#). Les codes CLC étant de type texte, ils sont sélectionnés sur la base du premier caractère « CLC06 LIKE '1%' ». Il en résulte le raster « clc_artif », qui est reclassé en « clc_artif_nd0 » où toutes les surfaces urbanisées sont à 1 et NoData à 0.

9.2.2. BD TOPO

L'assemblage des couches BD TOPO est réalisé département par département en utilisant : [Outils de gestion de données > Général > Combiner](#). Les couches ci-dessous sont prises en compte.

- ROUTE_PRIMAIRE (pour en faire une entité surfacique, tampon de 15m sur la couche linéaire)
- BATI_INDIFERRENCIE
- BATI_INDUSTRIEL
- BATI_REMARQUABLE
- CIMETIERE
- CONSTRUCTION_LEGERE
- CONSTRUCTION_SURFACIQUE
- TERRAIN_SPORT
- PISTE_AEROFDROME
- SURFACE ROUTE

Les couches départementales sont converties en raster en utilisant : [Outils de conversion > Vers raster > Entité vers raster](#). Les couches sont reclassées à 1 et NoData à 0. Il en résulte des couches de type « rSurfUrbXX » où XX est le numéro du département.

Les couches sont assemblées avec la calculatrice raster :

```
surfurb_nd0 = rSurfUrb14 + rSurfUrb27 + ... + rSurfUrb35
```

Les couches de surface urbanisées CLC et BD TOPO sont assemblées avec la calculatrice raster :

```
surfurban_nd0 = CON(([surfurb_nd0] + [clc_artif_nd0]) >= 1 , 1 , 0)
```

Note : L'utilisation de la forme conditionnelle évite d'avoir à réaliser un reclassement à l'issue de l'assemblage des couches.

La couche « [surfurban_nd0](#) » est reclassée en « [surfurban_nd](#) » telle que les valeurs 1 (urbanisation) prendront la valeur NoData. Les valeurs 0 et NoData existantes ne changent pas.

9.3. Lecture du résultat

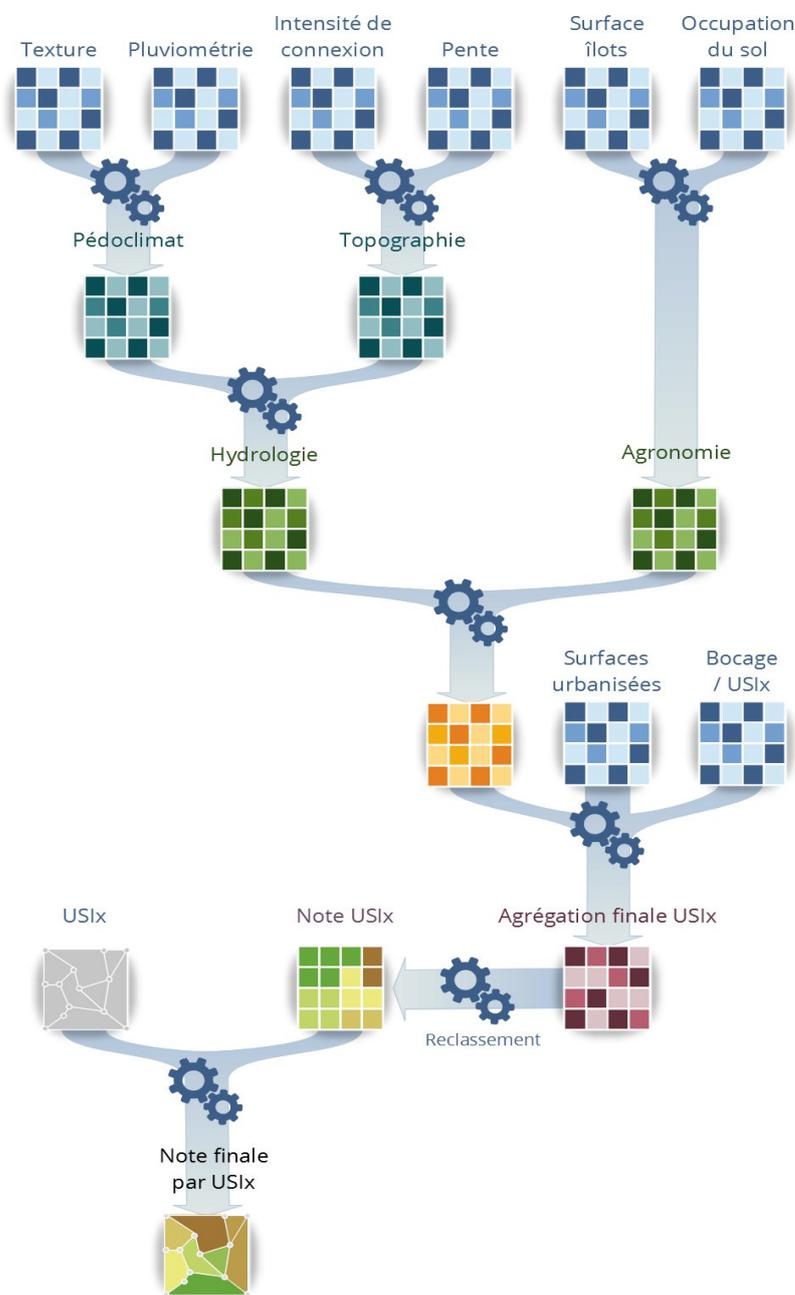
Dans la mesure où lors d'un traitement raster « NoData + x = Nodata », une fois cette couche additionnée à une autre, la couche résultante conservera les mêmes valeurs mais sera amputée de tous les espaces urbains. La couche « [surfurban_nd0](#) » sera conservée pour être utilisée dans un but illustratif.

10. Croisement des données

10.1. Chaîne d'agrégation des données

Chaque couche de données est classifiée de 1000 à 5000. Jusqu'au niveau 2, le résultat des couches assemblées est divisé par 2. La hiérarchie du niveau d'intégration choisie dépend ici du caractère plus ou moins discriminant localement (texture cantonale, pluviométrie régionale) ou de la précision de la donnée (intensité de connexion, surface). Les premiers niveaux de calcul sont en base 1000 pour ne traiter que des chiffres entiers. Le niveau 2 est reclassé par tranche de 500 pour être au même niveau de note que la couche avec laquelle il va être assemblé. Le niveau 3 est divisé par 2000 (2 puis 1000) pour revenir sur une base unitaire et soustraire le bocage.

Le schéma ci-dessous illustre le processus d'agrégation des données :



10.2. Agrégation et intégration des couches

La couche « CnxPte » est créée en croisant la couche « Conex » et la couche « Pte_Rcl » avec la calculatrice raster :

$$\text{CnxPte} = ([\text{Conex_nd1}] + [\text{Pte_Rcl}]) / 2$$

Cette couche est reclassée vers le demi-point supérieur pour prendre en compte une sous-évaluation de ce paramètre du fait de pentes sous-évaluées dans la BD ALTI (effet de terrasse) et de connexions indirectes aussi sous-estimées du fait d'une maille de BD ALTI importante par rapport à la route. La table de reclassement est présentée ci-dessous.

Classes	Note
1000 - 1250	1000
1250 - 1500	1500
1500 - 2000	2000
2000 - 2500	2500
2500 - 3000	3000
3000 - 3500	3500
3500 - 4000	4000
4000 - 4500	4500
4500 - 5000	5000

La couche « TxtPluv » est créée en croisant la couche « txt » et la couche « Pluv_Rcl » avec la calculatrice raster :

$$\text{TxtPluv} = ([\text{txt}] + [\text{Pluv_Rcl}]) / 2$$

La couche de niveau 2 « n2 » est créée en croisant la couche « TxtPluv » et la couche « CnxPte » avec la calculatrice raster :

$$\text{n2} = ([\text{TxtPluv}] + [\text{CnxPte}]) / 2$$

La couche « SurfOcc » est créée en croisant la couche « OccSol_nd0 » et la couche « SurfIlot_nd0 » avec la calculatrice raster. 1000 étant la note minimale, les valeurs inférieures à 1000 sont mises à 1000 :

$$\text{SurfOcc} = \text{CON}(\left(\frac{[\text{OccSol_nd0}] + [\text{SurfIlot_nd0}]}{2} \right) < 1000, 1000, \left(\frac{[\text{OccSol_nd0}] + [\text{SurfIlot_nd0}]}{2} \right))$$

La couche de niveau 3 « n3 » est créée en croisant la couche « n2 » et la couche « SurfOcc » avec la calculatrice raster. La division est ici par 2000 pour ramener les rasters en base 1000 vers l'unité. Les rasters doivent être convertis en "virgule flottante" avant la division sinon le résultat de la division entre les 2 rasters de type entier donnera un raster entier arrondi à l'unité.

```
n3 = (float([n2] + [SurfOcc])) / 2000
```

Les couches « NF_USI1 » et « NF_USI2 » sont créées en croisant la couche « n3 », la couche « SurfUrban_nd » et les couches « CM_USI1 » et « CM_USI1 » avec la calculatrice raster. Cette opération permet de minorer par le bocage (calculé par USI) la couche « n3 » et mettre à NoData les espaces urbanisés pour ne pas les comptabiliser dans les statistiques zonales par USI. 1 étant la note minimale, les valeurs inférieures sont mises à 1

```
NF_USI1 = CON(((n3] - [CM_USI1]) - [SurfUrban_nd]) < 1 , 1 , ([n3] - [CM_USI1]) - [SurfUrban_nd])
```

```
NF_USI2 = CON(((n3] - [CM_USI2]) - [SurfUrban_nd]) < 1 , 1 , ([n3] - [CM_USI2]) - [SurfUrban_nd])
```

Les couches « NF_USI1 » et « NF_USI2 » sont reclassées en utilisant : **Outils Spatial Analyst > Reclassement > Reclassification**, sur la base du tableau de reclassement ci-dessous. Il en résulte les couches « NF_USI1_Rcl » et « NF_USI2_Rcl ».

Classes	Note
-0,125 - 1,5	1
1,5 - 2,4	2
2,5 - 3,4	3
3,5 - 4,4	4
4,5 - 5	5

Les tables de statistiques zonales sont créées en utilisant : **Outils Spatial Analyst > Zonaux > Statistiques zonales (table)**. Il en résulte les tables « SZt_USI1 » et « SZt_USI2 ».

- Zone : rUSI1 puis rUSI2
- Champ de zone : EU_CD puis ID2_SZH
- Champ de valeur : VALUE

Les couches finales « Note_USI1 » et « Note_USI2 » sont créées à partir de « USI1_BnPlus_L93 » et « USI2_BnPlus_L93 ». Dans ces 2 couches, les 4 champs liés au bocage sont supprimés et un champ "NOTE" de type réel simple est ajouté.

Pour chacune des couches « Note_USI1 » et « Note_USI2 » les tables de statistiques sont jointes :

- « Note_USI1 » jointure avec « SZt_USI1 » sur ID2_SZH
- « Note_USI2 » jointure avec « SZt_USI2 » sur EU_CD

Le champ NOTE est calculé avec la moyenne (MEAN) pour chacune des couches « Note_USI1 » et « NoteUSI2 »

NOTE = [SZt_USI1.MEAN]

NOTE = [SZt_USI2.MEAN]

Afin d'éviter un nivellement trop important des résultats, cette note moyenne n'est pas reclassée. Du point de vue graphique, il est recommandé d'utiliser une classification par seuils naturels de Jenks. Néanmoins dans un but de comparaison dans le temps, 7 classes fixes sont proposées.

Classes de notes moyennes	Qualification
<= 2	Très faible
[2 - 2,5 [	Faible
[2,5 - 3 [	Moyennement faible
[3 - 3,5 [	Moyenne
[3,5 - 4 [	Moyennement élevée
[4 - 4,5 [	Elevée
> 4,5	Très élevée

AVERTISSEMENT

Le résultat produit a pour seul objectif de comparer des unités hydrographiques sur un territoire déterminé et de définir des priorités de diagnostic de terrain. Ce travail n'a pas vocation à être utilisé dans le cadre d'une définition d'aléa inondation. Par ailleurs, l'enjeu évalué étant les masses d'eaux superficielles, il est normal d'observer des valeurs plus faibles sur des zones en « open field » si le réseau hydrographique y est faible, l'aléa de connexion des îlots y est aussi faible.

ANNEXE 1 : COUVERTURE DES UNITÉS SPATIALES D'INTÉGRATION PAR RAPPORT À LA ZONE D'ÉTUDE

ANNEXE 2 : REQUÊTE CROISÉE SUR MS ACCESS

ANNEXE 3 : TRAITEMENT DES DONNÉES DU RPGA SOUS MICROSOFT ACCESS 2003

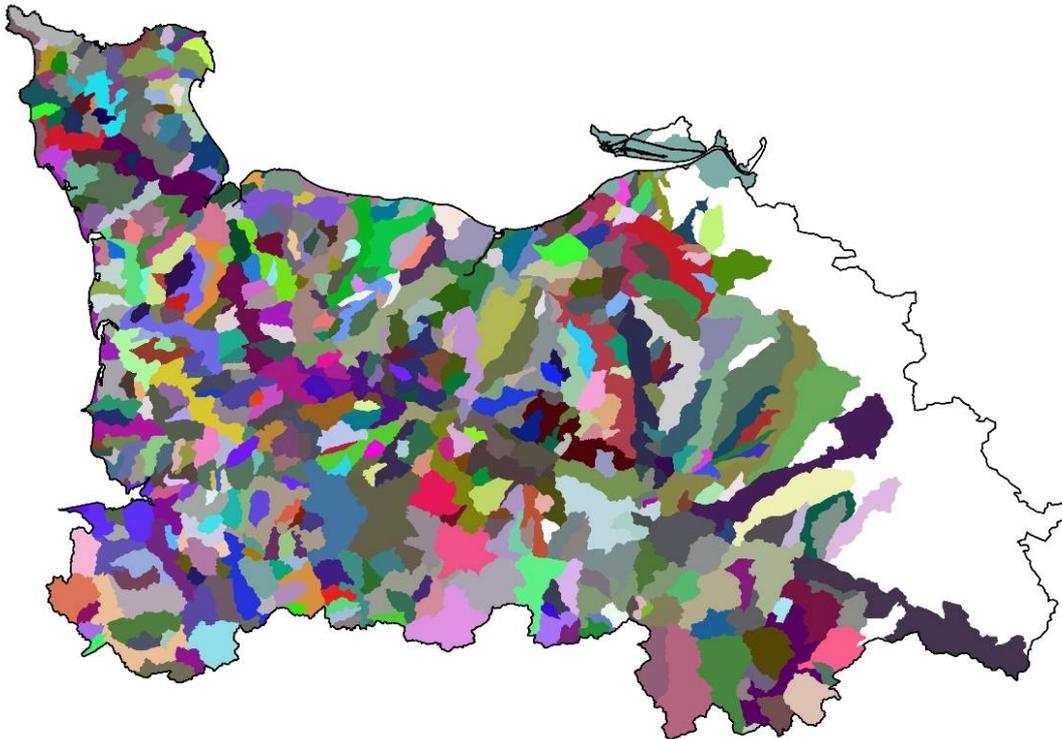
ANNEXE 4 : EXEMPLES DE DONNÉES INTERMÉDIAIRES

Annexe 1 : Couverture des Unités Spatiales d'Intégration par rapport à la zone d'étude

Ci-dessous : Sous zones hydrographiques - USI de niveau 1

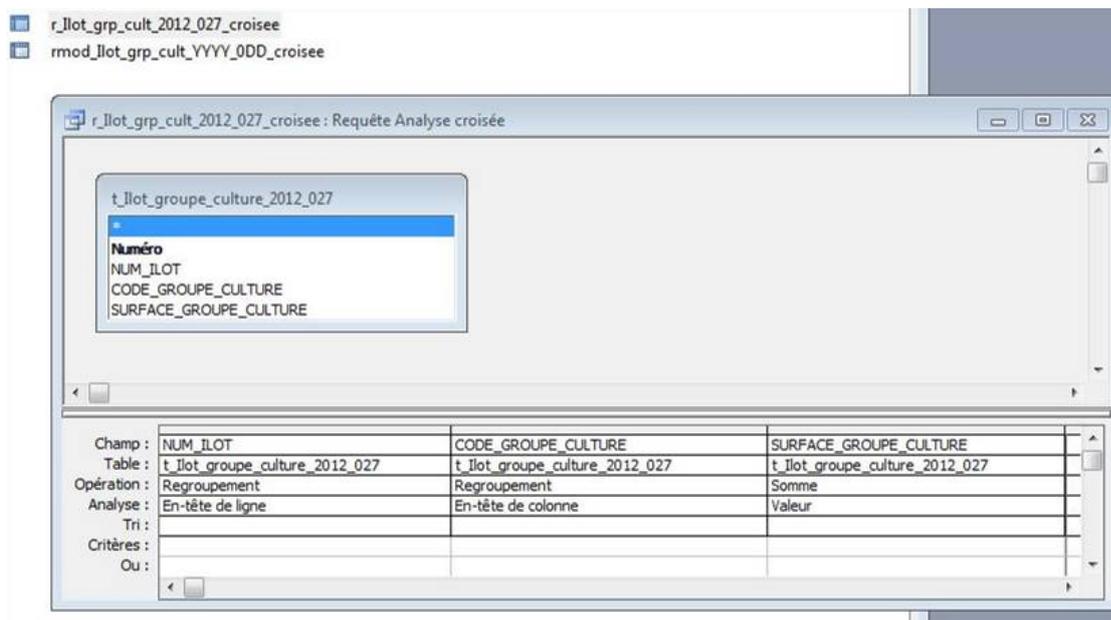


Ci-dessous : Bassins des masses d'eau superficielles - USI de niveau 2

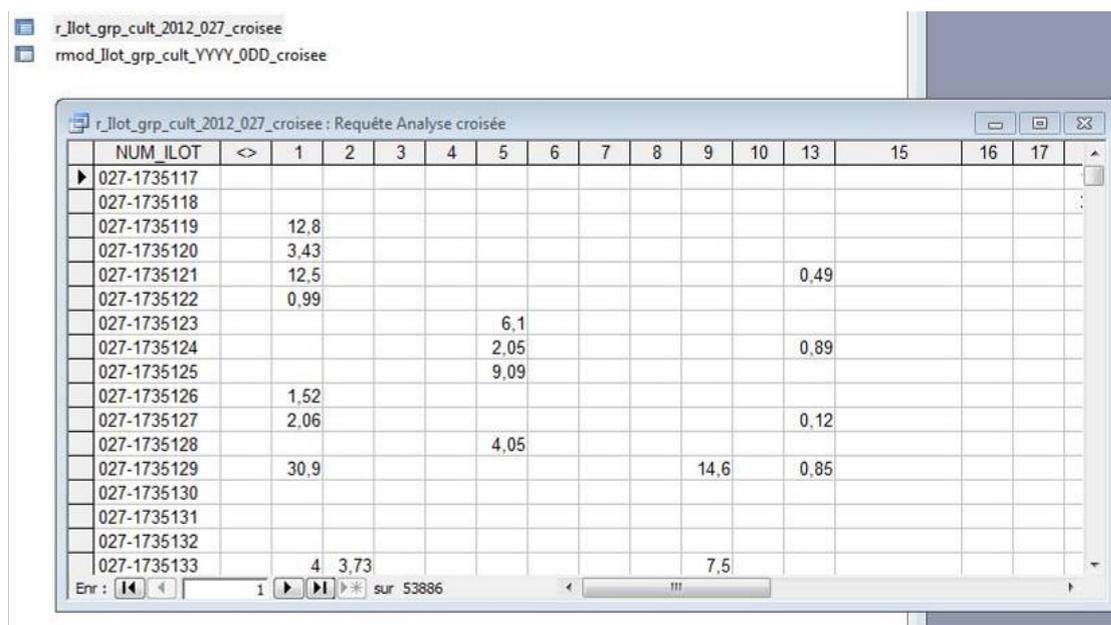


Annexe 2 : Requête croisée sur Ms Access

Ci-dessous : détail de la requête croisée sur la table créée lors de l'import du fichier CSV



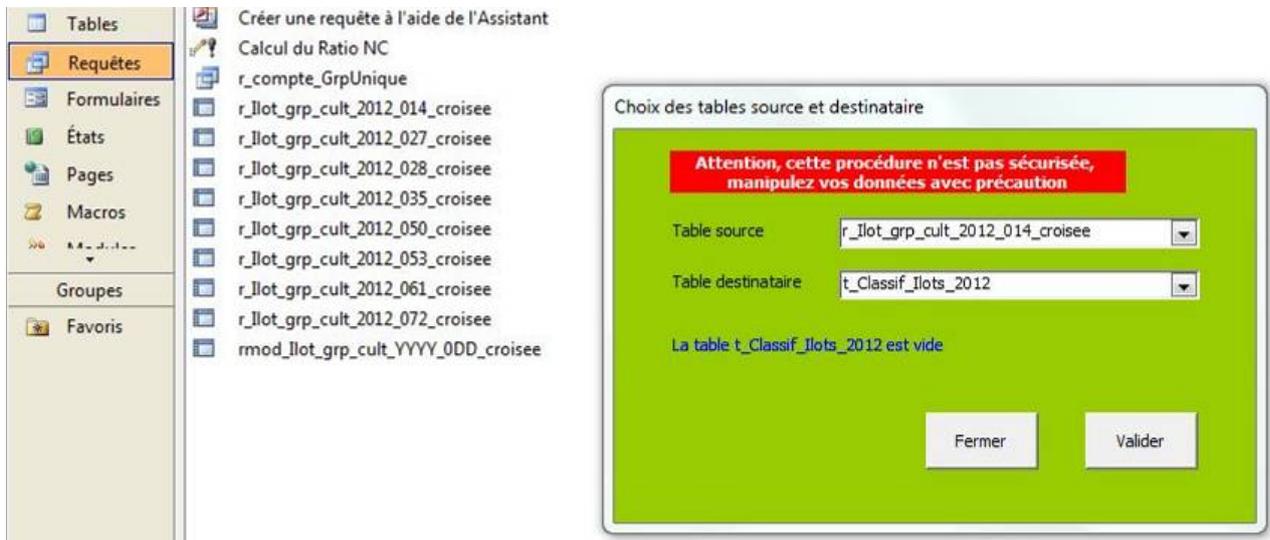
Ci-dessous : résultat de la requête croisée



La table d'origine comportait un enregistrement (ligne) par couple « îlot/groupe de culture ». La requête croisée a permis d'obtenir seulement un enregistrement par îlot et de positionner les groupes de culture en colonnes. Ce qui facilitera les opérations ultérieures de calculs et de jointures.

Annexe 3 : Traitement des données du RPGA sous Microsoft Access 2003

Ci-dessous : Choix des tables (on observe que la table destinataire est vide)



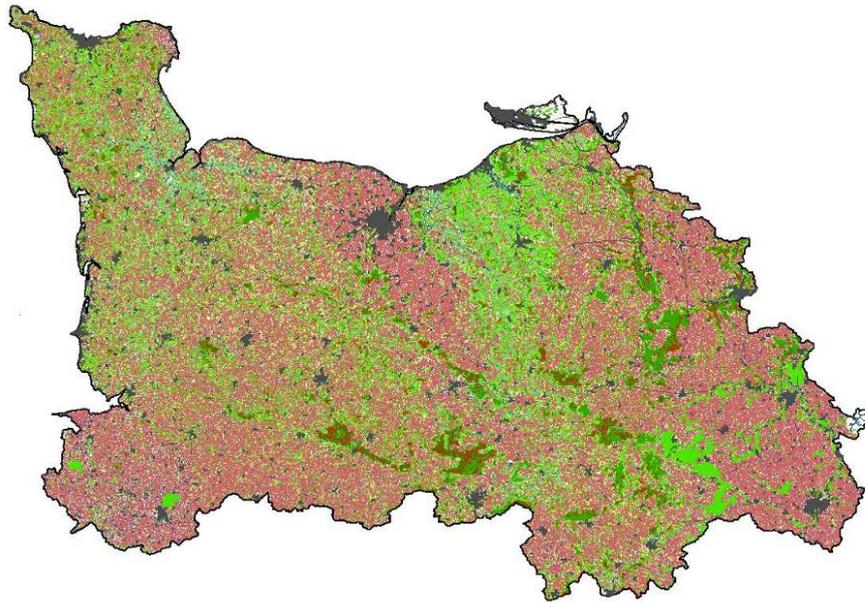
Ci-dessous à gauche : Un message signal la fin du traitement et le nombre d'enregistrements ajoutés



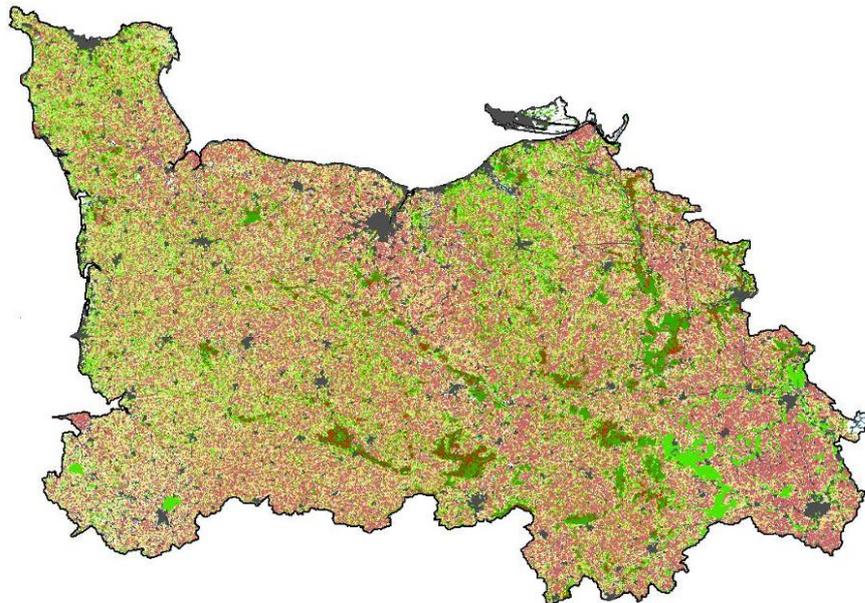
Ci-dessus à droite : on recommence l'opération pour chaque département (on observe qu'au fur et à mesure les départements déjà importés sont affichés)

Annexe 4 : Exemples de données intermédiaires

Ci-dessous : Couche de la note d'occupation du sol. Les trous entre les îlots PAC sont comblés avec la couche de végétation de boisements BD Topo et Corine Land Cover.



Ci-dessous : Couche de la note de surface des îlots. Les trous entre les îlots PAC sont comblés avec la couche de végétation de boisements BD Topo et Corine Land Cover.





Photos : C. BEAUMONT - SM3R | C. GOUINEAU - CATER COM