

# Rapport de stage

*Réalisation d'une cartographie de sensibilité à l'érosion hydrique du département du Gers (32)*



*Stage effectué du 2 mars au 19 juin 2020*

Tutrice et tuteur de stage : MANZO Nathalie et ASTRUC Pascal  
Tuteur universitaire : BAUP Frédéric

## Table des matières

### Introduction

I.	Présentation de l'organisme d'accueil .....	1
A.	La structure : La Direction Départementale des Territoires (DDT) .....	1
B.	Le Pôle : Information Expertise Développement des Territoires (IEDT) .....	2
C.	La mission : Réaliser une cartographie de sensibilité à l'érosion hydrique du département du Gers .....	2
II.	Méthodologie .....	3
III.	Déroulement.....	4
D.	La pluviométrie .....	4
1.	Le cumul.....	4
2.	L'intensité .....	5
3.	La combinaison .....	7
E.	La Géomorphologie.....	8
4.	La pente .....	8
5.	Les données produites avec l'algorithme r.watershed .....	8
F.	Le sol .....	9
6.	La lithologie.....	9
7.	La pédologie.....	9
G.	L'occupation du sol .....	10
H.	Cartographie .....	11
8.	La cartographie de la sensibilité.....	11
9.	La cartographie du risque .....	13
10.	La validation .....	15
IV.	Résultats .....	17
	Conclusion .....	18
	Remerciements.....	19
	Liste des figures .....	20
	Glossaire .....	21
	Sources .....	22

### Annexes

## Introduction

Le sol est une ressource naturelle ancienne et non renouvelable à l'échelle du temps. L'une des causes majeures de sa dégradation est l'érosion, principalement causée par les activités humaines et les divers aménagements que l'homme a pu réaliser au cours de l'histoire (remembrement et drainage des parcelles, recalibrage et curage des rivières et cours d'eau, disparition des haies...). Au-delà de la dégradation du sol dans sa structure physique, celui-ci est également dégradé dans sa qualité.

L'érosion provoque des dégâts aux terres agricoles, aux aménagements routiers et dans certains cas aux habitations lors de coulées de boues. De plus l'érosion, par le transport de sédiments, dégrade la qualité des eaux mais également le réseau hydrographique par un colmatage du lit des cours d'eau, rivières et lacs, ainsi que les ouvrages.

Ces dégâts sont très coûteux, on parle à l'échelle du département du Gers :

- Pour l'année 2013, de 1.2 millions d'euros consacré aux réparations et à l'entretien des voiries par les collectivités (source CD 32\* / Arbre et Paysage 32)
- Pour l'année 2018 (printemps et début d'été) de 4.8 millions d'euros de dégâts aux infrastructures des collectivités et 1.8 millions d'euros de dégâts aux sols et aux ouvrages agricoles (source DDT 32\*)

Devant l'aggravation des dégâts observés depuis ces vingt dernières années, de nombreuses recherches sur les processus et les facteurs de l'érosion hydrique ont été engagées par diverses institutions et bureaux d'études à différentes échelles à travers le monde.

Aucune étude n'avait encore été réalisée à l'échelle du département du Gers.

Afin de connaître les zones les plus exposées aux problèmes d'érosion, il m'a été demandé de réaliser une cartographie de sensibilité à l'érosion hydrique du département du Gers par une modélisation prenant en compte divers facteurs qu'ils soient structurels comme la géomorphologie, la pédologie, la lithologie, ou conjoncturels comme l'intensité des précipitations et l'indice de végétation.

# I. Présentation de l'organisme d'accueil

## A. La structure : La Direction Départementale des Territoires (DDT)

La Direction Départementale des Territoires est un service déconcentré de l'État créé au 1<sup>er</sup> janvier 2010. Elle est placée sous l'autorité du préfet du département dont elle constitue une partie des services techniques mais ses missions relèvent des domaines de compétence des ministères en charge de l'agriculture, de la transition écologique et solidaire, du logement et aussi du ministère de l'intérieur. La DDT met en œuvre localement les politiques publiques élaborées au niveau national et impulsées par l'échelon régional en les adaptant au mieux aux caractéristiques et aux besoins du département.

La DDT assure la cohérence des politiques publiques dont ses différents services ont la charge (voit figure 1) :

- Le Service Eau et Risques (SER\*)
- Le Service Territoire et Patrimoine (STP\*)
- Le Service Cohésion des Territoires (SCT\*)
- Le Service Agriculture Durable (SAD\*)
- Le Pôle Information, Expertise Développement du Territoire (IEDT\*)

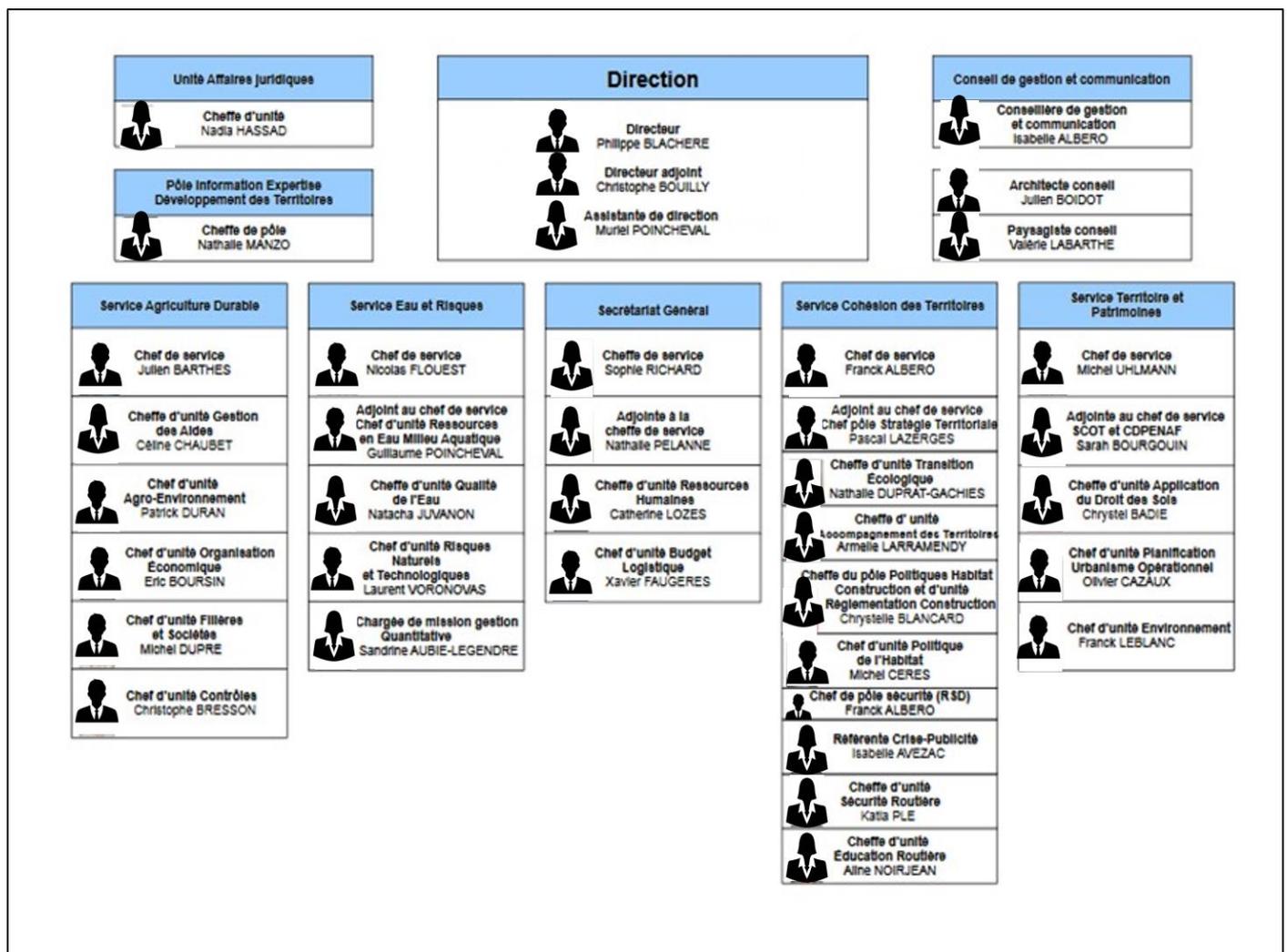


Figure 1 : Organigramme de la Direction Départementale des Territoires

## **B. Le Pôle : Information Expertise Développement des Territoires (IEDT)**

Le Pôle IEDT\* est directement rattaché à la direction en raison de son positionnement transversal. C'est une unité au service des services métier de la structure. Il a pour mission d'administrer les données localisées de la DDT, d'accompagner les différents services dans l'accès aux données statistiques et géographiques et de mettre la donnée à disposition du public dans le cadre de l'open data\*.

Ce pôle contribue également au développement de la connaissance des territoires par la réalisation d'études, de diagnostics, de plaquettes d'informations et organise une veille dans une démarche prospective.

## **C. La mission : Réaliser une cartographie de sensibilité à l'érosion hydrique du département du Gers**

La mission qui m'a été confiée était de réaliser une cartographie de sensibilité à l'érosion hydrique du département du Gers, dont les quatre principaux objectifs étaient :

- Objectiver le phénomène d'érosion hydrique sur le département,
- Identifier les zones particulièrement sensibles à l'érosion,
- Sensibiliser les différents acteurs du territoire et leur permettre de s'interroger sur leurs pratiques,
- Réfléchir collectivement à une gestion coordonnée des actions de lutte contre l'érosion des sols

La cartographie de sensibilité à l'érosion hydrique, à partir d'une modélisation doit s'appuyer sur des données géophysiques (lithologie, pédologie, modèle numérique de terrain), sur des données d'occupation du sol (OCS GE), sur des données d'indices de végétation (image satellite Sentinel-2) et sur des données météorologiques (Météo France).

Le modèle doit donc combiner, dans un Système d'Information Géographique (SIG\*), les principaux paramètres susceptibles de favoriser l'érosion hydrique des sols.

Cette cartographie sera utile à différents services de la DDT 32, comme :

- le service Eaux et Risques, sur les volets risques naturels mais aussi surveillance de la qualité de l'eau dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE\*)
- Le service Agriculture Durable dans le cadre de la gestion des calamités agricoles
- L'unité Environnement du service Territoires et Patrimoine (dans le cadre des autorisations de défrichement)

D'autres institutions et acteurs du territoire sont impliqués dans ce projet. En effet, cette commande trouve son origine dans le prolongement d'une étude menée récemment par le pôle IEDT relative aux mutations des espaces naturels, agricoles et forestiers dans le Gers. Un groupe de travail « Érosion hydrique » a été mis en place au printemps 2019 dans le cadre partenarial de la Banque de Données Territoriales du Gers (BDT 32\*) pilotée par le Conseil Départemental du Gers (CD32) afin d'associer à la réflexion tous les acteurs du territoire engagés dans la lutte contre l'érosion hydrique des sols, phénomène très problématique dans ce département avec un risque d'aggravation en raison du changement climatique. Ce groupe rassemble, entre autres :

- La Direction Départementale des Territoires du Gers
- Les services SIG, Agriculture et Eau du Conseil Départemental Du Gers
- L'Association de Développement, d'Aménagement et de Services en Environnement et en Agriculture
- Arbre et Paysage 32,
- Plusieurs syndicats de rivières,
- L'institution Adour porteuse du SAGE Adour Amont,
- La Chambre d'Agriculture du Gers,
- Le Conseil d'architecture, d'urbanisme et de l'environnement du Gers
- L'Agence de l'Eau Adour-Garonne.

## II. Méthodologie

La méthodologie a été conçue et adoptée dès le début de mon stage sur la base d'une étude du risque d'érosion hydrique des sols dans la région semi-montagneuse de Man (ouest de la Côte d'Ivoire). Elle a été adaptée pour tenir compte des données disponibles et de la zone d'étude (voir figure 2).

La méthodologie retenue consiste à prendre en compte deux types de phénomènes, ceux qui sont structurels (la géomorphologie, la pédologie et la lithologie) donc statiques et ceux qui sont conjoncturels (l'intensité des précipitations et l'indice de végétation) donc évolutifs.

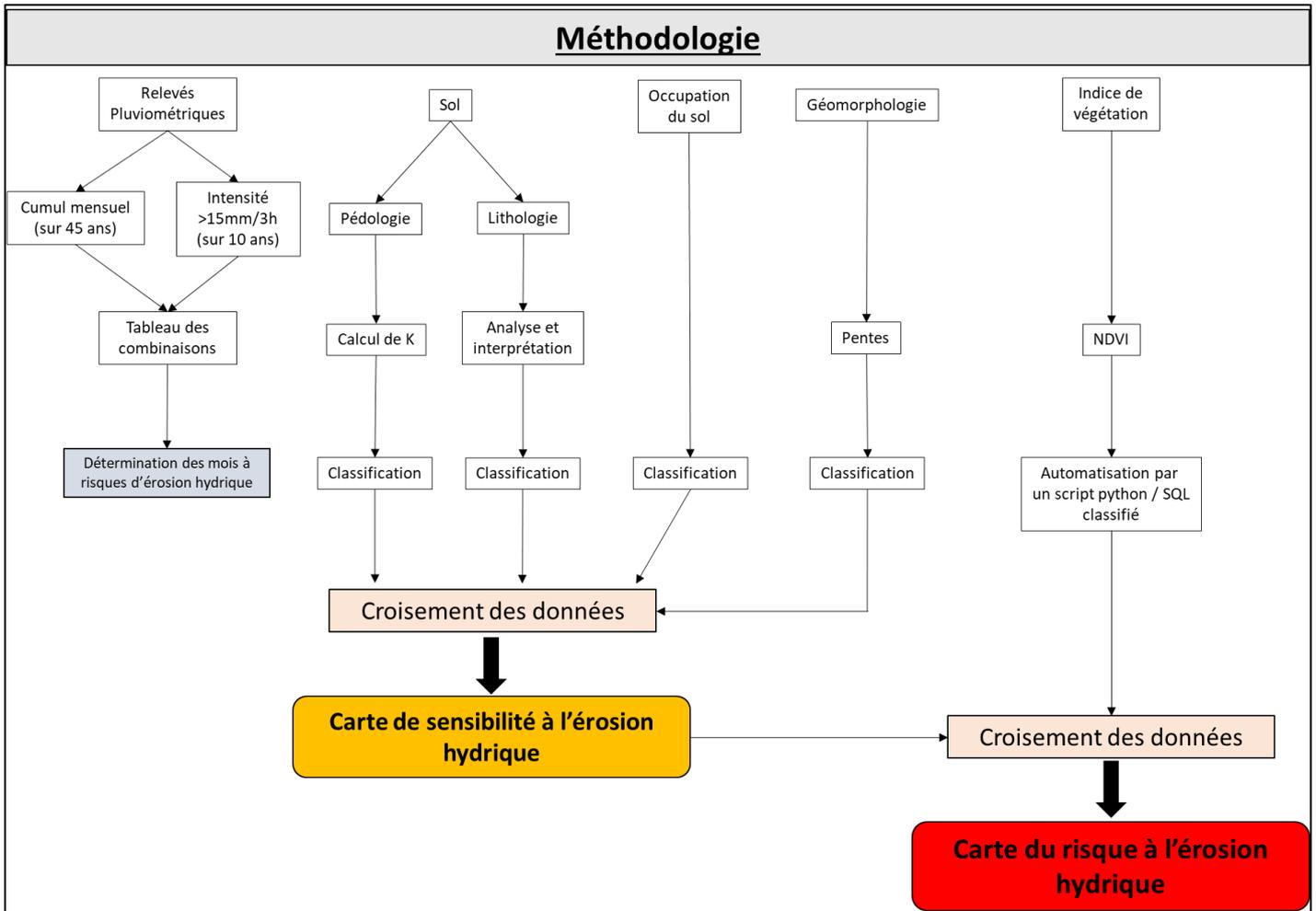


Figure 2 : Méthodologie de la modélisation

Les données qui ont été utilisées pour réaliser cette cartographie sont :

- MNT\* de l'IGN\* précision 5 mètres
- OSC GE\* de l'IGN échelle 1 : 5 000
- La lithologie du BRGM\* échelle 1 : 50 000
- La pédologie de l'INRAE\* échelle 1 : 250 000
- Images Sentinel-2 de l'ESA\* sur l'année 2018-2019 résolution de pixels 10 mètres x 10 mètres

Ces données ont été traitées grâce à :

- QGIS
- GRASS GIS (intégré préalablement dans QGIS)
- PostgreSQL via PGAdmin et PostGis, langage SQL\*
- Langage PYTHON via un batch file\*

### III. Déroulement

#### D. La pluviométrie

La pluviométrie est un des principaux facteurs de l'érosion hydrique. En effet l'érosivité (capacité des éléments à dégrader un sol) de la pluie dépend essentiellement de sa hauteur et de son intensité, j'ai donc cherché à étudier ces deux paramètres afin de caractériser au mieux ce phénomène (voir figure 3).

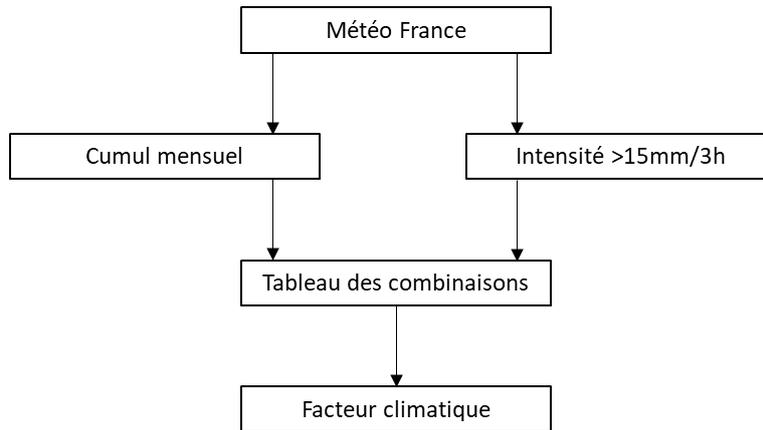


Figure 3 : Schéma du traitement de la donnée météorologique

##### 1. Le cumul

Le cumul pluviométrique efficace\* a été déterminé grâce à une donnée issue de Météo France, avec un maillage de 10 kilomètres par 10 kilomètres, représentant une grille de 234 points. Cette grille regroupait les données mensuelles de 1971 à 2016 (45 ans).

Cette donnée a été traitée en SQL dans PGAdmin en calculant :

- La moyenne mensuelle (en mm)
- La somme mensuelle (en mm)
- La détermination mensuelle du minimum et du maximum (en mm)
- La détermination mensuelle du premier et dernier décile (en mm)

J'ai pu ensuite réaliser un graphique (voir figure 4) représentant le cumul pluviométrique mensuel sur 45 ans de relevés.

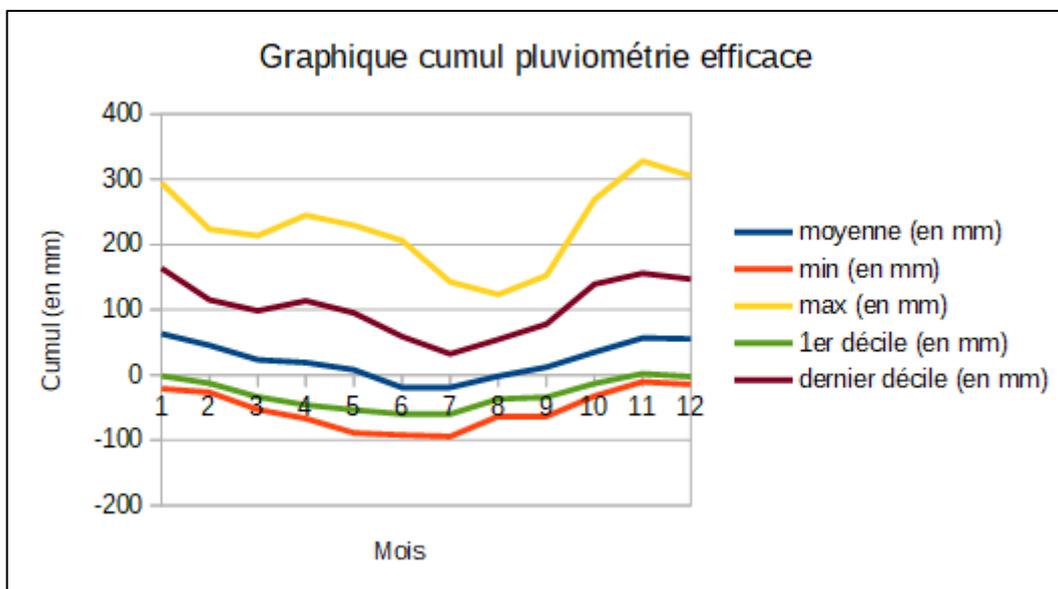


Figure 4 : Graphique du cumul pluviométrique efficace sur le département du Gers de 1971 à 2016 (45 ans)

## 2. L'intensité

L'intensité des précipitations pluviométriques est d'une grande importance pour la modélisation car elle va indiquer l'agressivité des précipitations. Déterminée grâce à une donnée issue de Météo France, l'intensité regroupait les précipitations par tranche de 3 heures sur 10 ans (du 1<sup>er</sup> janvier 2010 au 31 décembre 2019). Le choix de 10 ans a été fait afin de pouvoir pondérer les résultats et éviter des valeurs erronées, le résultat est donc une tendance de l'intensité pluviométrique sur une période de 10 ans.

En l'absence de station météo gersoise, le choix a été fait de prendre des valeurs issues de 3 stations situées aux limites est, ouest et sud du département afin de déterminer l'intensité des précipitations :

- Mont-de-Marsan à l'ouest
- Tarbes au sud
- Toulouse à l'est

Aucune station n'a été choisie au nord du département au vu d'un éloignement trop important qui aurait pu entraîner une erreur dans l'interprétation du phénomène.

Le téléchargement de cette donnée, représentant 120 fichiers « .csv », a été automatisé à l'aide d'un script Python (voir figure 5) déjà existant à la DDT 32. En effet, réaliser cette tâche manuellement aurait pris plusieurs heures, en l'automatisant elle n'a pris que quelques dizaines de minutes entre l'adaptation du script et l'exécution de celui-ci.

```
1 set https_proxy=pfrie-std.proxy.e2.rie.gouv.fr:8080
2 set ftp_proxy=pfrie-std.proxy.e2.rie.gouv.fr:8080
3 set http_proxy=pfrie-std.proxy.e2.rie.gouv.fr:8080
4
5
6 wget -t inf https://donneespubliques.meteofrance.fr/donnees_libres/Txt/Synop/Archive/synop.201001.csv.gz --no-check-certificate
7 wget -t inf https://donneespubliques.meteofrance.fr/donnees_libres/Txt/Synop/Archive/synop.201002.csv.gz --no-check-certificate
8 wget -t inf https://donneespubliques.meteofrance.fr/donnees_libres/Txt/Synop/Archive/synop.201003.csv.gz --no-check-certificate
9 ...
10 wget -t inf https://donneespubliques.meteofrance.fr/donnees_libres/Txt/Synop/Archive/synop.201910.csv.gz --no-check-certificate
11 wget -t inf https://donneespubliques.meteofrance.fr/donnees_libres/Txt/Synop/Archive/synop.201911.csv.gz --no-check-certificate
12 wget -t inf https://donneespubliques.meteofrance.fr/donnees_libres/Txt/Synop/Archive/synop.201912.csv.gz --no-check-certificate
13
14 pause
15
```

Figure 5 : Capture d'écran script Python

Une fois extraites, ces données ont été intégrées automatiquement dans une table, dans ma base de données PGAdmin à l'aide de lignes de commande (OGR2OGR\*) placées dans l'invite de commande Windows (voir figure 6).

```
1 set PGASSWORD=ieedt
2 "C:\Program Files\QGIS 3.4\bin\ogr2ogr.exe" -lco LAUNDER=no -update -append -skipfailures -f "PostgreSQL" PG:"hostaddr=127.0.0.1 dbname=intensite user=postgres" synop201001.csv -nln "pluvio"
3 "C:\Program Files\QGIS 3.4\bin\ogr2ogr.exe" -lco LAUNDER=no -update -append -skipfailures -f "PostgreSQL" PG:"hostaddr=127.0.0.1 dbname=intensite user=postgres" synop201002.csv -nln "pluvio"
4 "C:\Program Files\QGIS 3.4\bin\ogr2ogr.exe" -lco LAUNDER=no -update -append -skipfailures -f "PostgreSQL" PG:"hostaddr=127.0.0.1 dbname=intensite user=postgres" synop201003.csv -nln "pluvio"
5 "C:\Program Files\QGIS 3.4\bin\ogr2ogr.exe" -lco LAUNDER=no -update -append -skipfailures -f "PostgreSQL" PG:"hostaddr=127.0.0.1 dbname=intensite user=postgres" synop201004.csv -nln "pluvio"
6 "C:\Program Files\QGIS 3.4\bin\ogr2ogr.exe" -lco LAUNDER=no -update -append -skipfailures -f "PostgreSQL" PG:"hostaddr=127.0.0.1 dbname=intensite user=postgres" synop201005.csv -nln "pluvio"
7 "C:\Program Files\QGIS 3.4\bin\ogr2ogr.exe" -lco LAUNDER=no -update -append -skipfailures -f "PostgreSQL" PG:"hostaddr=127.0.0.1 dbname=intensite user=postgres" synop201006.csv -nln "pluvio"
8 "C:\Program Files\QGIS 3.4\bin\ogr2ogr.exe" -lco LAUNDER=no -update -append -skipfailures -f "PostgreSQL" PG:"hostaddr=127.0.0.1 dbname=intensite user=postgres" synop201007.csv -nln "pluvio"
9
10 ....
11
12
13 "C:\Program Files\QGIS 3.4\bin\ogr2ogr.exe" -lco LAUNDER=no -update -append -skipfailures -f "PostgreSQL" PG:"hostaddr=127.0.0.1 dbname=intensite user=postgres" synop201907.csv -nln "pluvio"
14 "C:\Program Files\QGIS 3.4\bin\ogr2ogr.exe" -lco LAUNDER=no -update -append -skipfailures -f "PostgreSQL" PG:"hostaddr=127.0.0.1 dbname=intensite user=postgres" synop201908.csv -nln "pluvio"
15 "C:\Program Files\QGIS 3.4\bin\ogr2ogr.exe" -lco LAUNDER=no -update -append -skipfailures -f "PostgreSQL" PG:"hostaddr=127.0.0.1 dbname=intensite user=postgres" synop201909.csv -nln "pluvio"
16 "C:\Program Files\QGIS 3.4\bin\ogr2ogr.exe" -lco LAUNDER=no -update -append -skipfailures -f "PostgreSQL" PG:"hostaddr=127.0.0.1 dbname=intensite user=postgres" synop201910.csv -nln "pluvio"
17 "C:\Program Files\QGIS 3.4\bin\ogr2ogr.exe" -lco LAUNDER=no -update -append -skipfailures -f "PostgreSQL" PG:"hostaddr=127.0.0.1 dbname=intensite user=postgres" synop201911.csv -nln "pluvio"
18 "C:\Program Files\QGIS 3.4\bin\ogr2ogr.exe" -lco LAUNDER=no -update -append -skipfailures -f "PostgreSQL" PG:"hostaddr=127.0.0.1 dbname=intensite user=postgres" synop201912.csv -nln "pluvio"
19 pause
```

Figure 6 : Ligne de commande intégration des fichiers dans PostGis grâce à OGR2OGR

L'intensité des précipitations a été déterminée grâce à un script SQL (voir figure 7). Celui-ci prend en compte :

- Le numéro de la station
- La date du phénomène
- La tranche horaire de 3 heures relevant un phénomène de précipitations supérieures à 15 mm

```

15 SELECT
16 min( numer_sta ) AS numero_station,
17 date AS date_et_heure,
18 min(right(left(date,6),2)) AS mois,
19 COUNT(numer_sta) AS nombre,
20 numer_sta||right(left(date,6),2) AS numero_station_moi,
21 sum(cast(rr3 as double precision)) AS somme_precipitation_de_plus_15
22 FROM pluvio
23
24 WHERE (rr3<>'mg') AND ( numer_sta='07607' OR numer_sta='07621' OR numer_sta='07630') AND CAST(rr3 AS double precision)>15
25 GROUP BY numer_sta||right(left(date,6),2), date
26 ORDER BY numer_sta||right(left(date,6),2);

```

Figure 7 : Capture d'écran script SQL

Une fois le résultat de ce script exporté en format « .csv », j'ai pu réaliser un tableau (voir figure 8) recensant le nombre d'intervalles de 3 heures relevant un phénomène de précipitations supérieures à 15 mm de manière mensuelle.

MOIS	CUMUL moyen pluviométrique moyen sur 45 ans (en mm) <sup>2</sup>	'07607 MONT DE MARSAN Nombre d'intervalles de 3 heures ou un phénomène de pluviométrie supérieur à 15 mm a été observé sur 10 ans	'07621 TARBES	'07630 TOULOUSE	TOTAL
1	64.7019563152896	1	1		2
2	46.4045394112061		1		1
3	23.7948717948718				0
4	19.4516714150048	3	3	2	8
5	8.1394301994302	3	2	2	7
6	-19.6363722697056	9	5	4	18
7	-19.5638565605223	5	12	5	22
8	-1.86910731244065	2	4	3	9
9	12.1628679962013	2	2	1	5
10	35.8362013295347	1	2	4	7
11	57.8930864197531	1	6		7
12	56.6508262108262				0
	<b>TOTAL</b>	<b>27</b>	<b>38</b>	<b>21</b>	

Figure 8 : Tableau intensité pluviométrique

On peut observer que les mois d'avril à octobre sont les mois enregistrant la majorité des épisodes pluvieux supérieurs à 15 mm dans un intervalle de 3 heures (grâce à la figure 9 ci-dessous). On peut également remarquer que la station de Tarbes, au sud du département, enregistre le plus grand nombre de phénomènes intenses, ceci est dû à sa situation géographique de piémont pyrénéen. Enfin, on peut remarquer que le phénomène d'intensité intervient majoritairement de 18h00 à 00h00, ce qui est lié à des épisodes orageux.

Cette hypothèse a été validée par Mickaël PARDE, ingénieur expert en télédétection chez Météo-France.

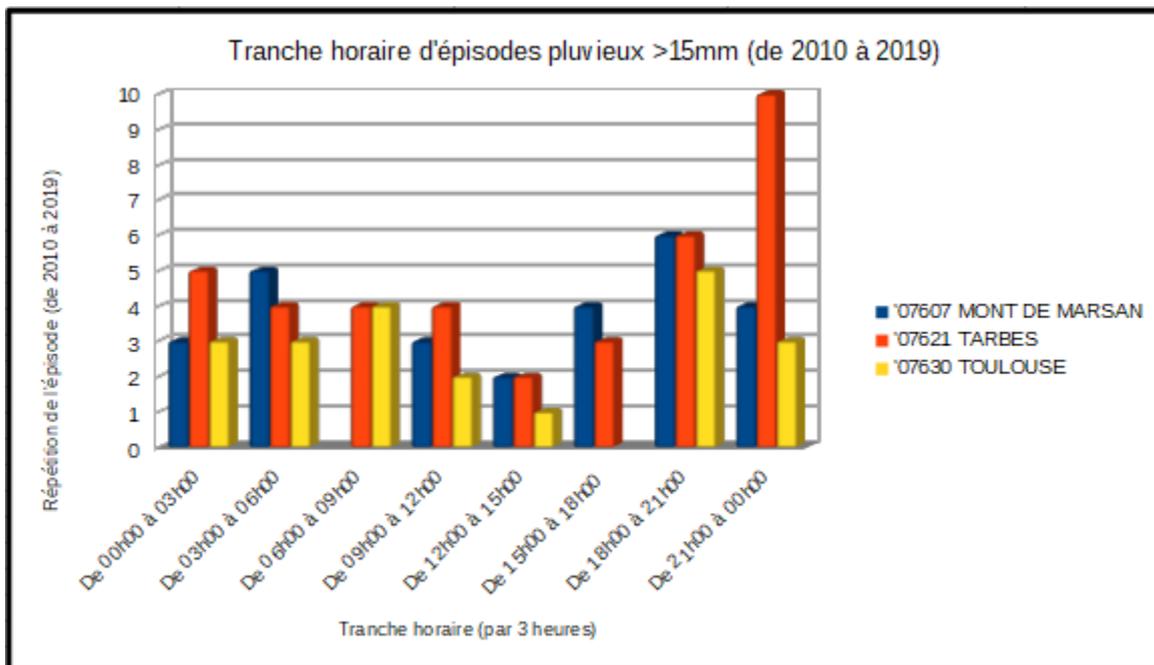


Figure 9 : Graphique Intensité pluviométrique par tranche horaire de 3 heures

### 3. La combinaison

La combinaison des résultats de l'analyse du cumul et de l'intensité pluviométrique permet de générer le schéma ci-dessous (voir figure 10).

On peut remarquer que la répétition du phénomène intensité supérieure à 15mm par tranche de trois heures (courbe bleue) s'observe majoritairement en période estivale, mais aussi en fin de printemps et début d'automne. C'est donc ces périodes qui sont les plus sensibles au phénomène de battance et qui sont donc les plus à risque d'érosion.

Pour ce qui est du cumul (courbe orange), on remarque que celui-ci est faible sur la période estivale et même négatif pour le mois de juin et juillet, ceci est la conséquence d'une évapotranspiration importante en cette période (prise en compte d'une donnée de pluviométrie efficace\*). C'est une information intéressante pour la sensibilité des sols à l'érosion. Sachant qu'un sol saturé en eau est plus sensible à l'érosion, la période estivale semble moins concernée.

L'étude d'un seul de ces éléments aurait induit une erreur d'interprétation de ce phénomène.

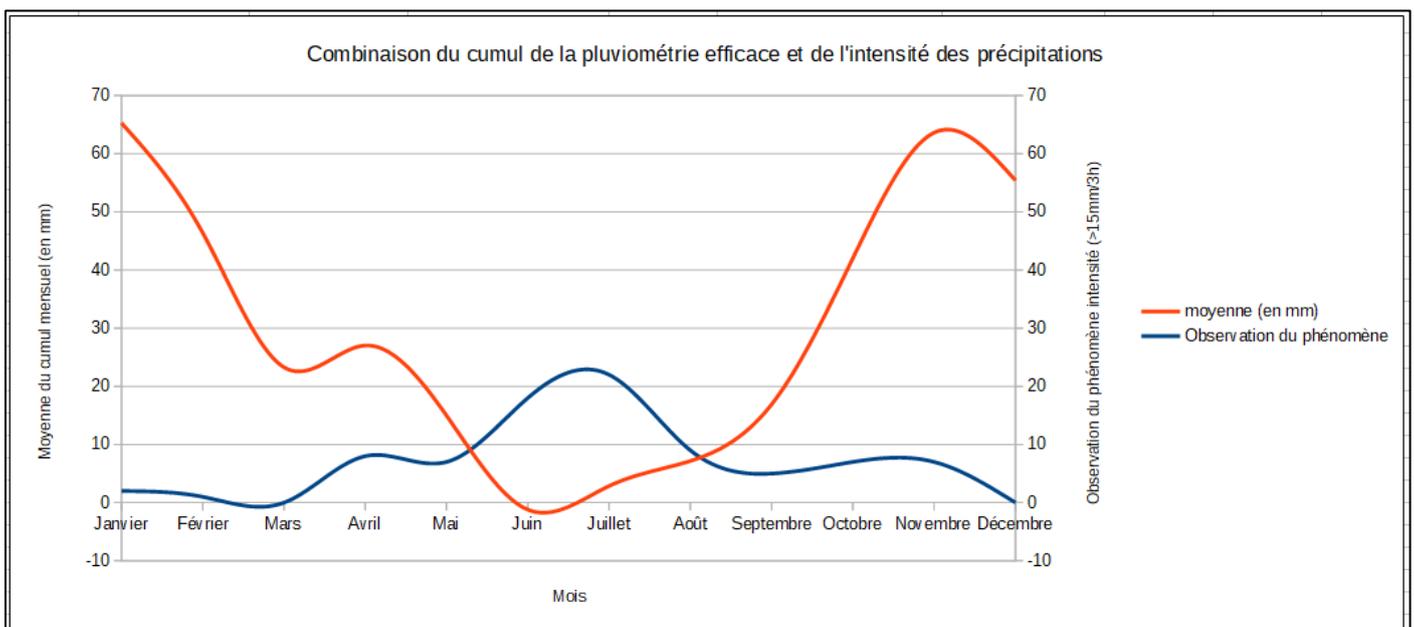


Figure 10 : Graphique de la combinaison du cumul et de l'intensité pluviométrique

## E. La Géomorphologie

La géomorphologie est l'étude de la forme et de l'évolution du relief terrestre, c'est un facteur important concernant la problématique de l'érosion.

Elle a été analysée à partir d'un MNT, afin de générer plusieurs données comme la pente, les bassins versants, la direction des écoulements, le ruissellement et les zones d'accumulations (ces quatre dernières ayant été générées grâce à l'algorithme r.watershed dans GRASS).

### 4. La pente

La pente permet de déterminer le ruissellement de l'eau sur le territoire qui va jouer un rôle essentiel dans le processus d'érosion. En effet, un terrain plat ne sera pas érodé de la même façon qu'un terrain à flanc de colline.

À partir d'un MNT précision 5 mètres, j'ai pu générer un raster de pente grâce à la fonction r.slope présente dans GRASS via l'interface QGIS. J'ai ensuite utilisé une classification de la pente déjà existante dans la littérature, en l'adaptant pour que celle-ci puisse correspondre à ma zone d'étude.

Ci-dessous, un extrait de la classification utilisée :

*« D'après Laubier et al. (2001) et Aurousseau et al. (1996), les seuils de pente souvent retenus concernant la thématique du ruissellement sont : les pentes de 0 à 2% (pas de ruissellement de surface strict), les pentes de 3 à 5% (un ruissellement peut se produire, selon les caractéristiques des sols ou dans les cas d'intensités de pluies importantes) et enfin les pentes supérieures à 5% (ruissellement sous n'importe quelle pluie). »*

Une fois adaptée à ma zone d'étude, ma classification correspond à :

- de 0 à 2 % : Pas de ruissellement strict
- de 3 à 5 % : Ruissellement possible en cas de fortes précipitations
- de 6 à 11 % : Ruissellement important en cas de fortes précipitations
- > à 11 % : Ruissellement très important sous n'importe quel type de précipitations

La carte classifiée de la pente est présente en annexe (annexe n°1).

### 5. Les données produites avec l'algorithme r.watershed

**La carte des bassins versants** permet de connaître le point d'exutoire de chaque zone et donc de localiser les zones qui vont être dégradées (voir carte en annexe n°2).

**La carte de la direction des écoulements** permet de connaître la direction des coulées de boue. Cela permet de connaître les ouvrages et les parcelles qui risquent d'être dégradés par l'érosion (voir carte en annexe n°2). La multiplication des valeurs positives par 45 donne la direction en degrés du ruissellement de surface se déplaçant à partir de la cellule du MNT.

**La carte du ruissellement** permet de connaître les zones vers lesquelles vont se diriger les sédiments d'une zone érodée. Le résultat renvoie le réseau hydrographique du département mais avec une précision plus fine que les données de l'IGN par exemple (voir carte en annexe n°3).

**La carte de l'accumulation** permet de connaître les zones où vont s'accumuler les sédiments mais surtout la direction que ceux-ci vont prendre lors de leur transport par l'eau de pluie lors des fortes précipitations et donc les zones sensibles aux dégâts en aval de la zone dégradée (voir carte en annexe n°3).

Afin de pouvoir interpréter les données au mieux, j'ai classifié le raster comme suit :

- Valeurs négatives = les zones qui se déversent en dehors de la zone d'étude
- Haute terre = les cellules en amont
- Haute terre +1 = les cellules en dessous des précédentes
- Haute terre +2 = les cellules en dessous des hautes terres +1
- Haute terre +3 = les cellules en dessous des hautes terres +2
- Haute terre +4 = les cellules en dessous des hautes terres +3
- Haute terre +5 et + = toutes les cellules en dessous des hautes terres +4 (on retrouve le réseau hydrographique)

## F. Le sol

La constitution du sol est l'élément fondateur des problématiques d'érosion. La lithologie a permis de déterminer quel type de sol était perméable, sachant qu'un sol imperméable est plus sensible à l'érosion. La pédologie a permis de déterminer quel type de sol peut se désagréger sous l'effet des précipitations et donc provoquer le transport de matériaux sédimentaires.

### 6. La lithologie

La donnée lithologique provient du BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières).

Elle a été analysée de façon à déterminer 3 classes d'imperméabilité (Voir carte en annexe n°4) :

- Imperméabilité faible (Alluvions, Blocs, Colluvions, Galets, Graviers, Sables, Sable argilo-silteux, Sables ferrugineux et Sables fins)
- Imperméabilité moyenne (Altérites, Argiles à graviers, Argiles sableuses, Falus, Limons, Marne (33%<CO3<66%), Marnes bioclastiques, Marnes détritiques et Marnes sableuses)
- Imperméabilité forte (Argiles, Argiles carbonatées, Calcaires, Calcaires gréseux, Calcaires marneux, Calcaires micritiques, Calcaires spathique (ou cristallins), Conglomérats, Dolomies, Grès calcaires, Grès micacés, Poudingues)
- Non classé (Eaux et Plans d'eau)

Cette classification a été validée par Nicolas FLOUEST, chef du service « Eau et Risques » de la DDT 32.

### 7. La pédologie

La donnée pédologique n'était pas disponible à la DDT 32, elle a été mise à disposition par une convention avec son propriétaire, l'INRAE, et fournie par EcoLab.

EcoLab a été maître d'ouvrage pour la réalisation de la carte des pédo-paysages\* concernant la région Midi-Pyrénées.

Cette donnée a été analysée en interprétant K, K représentant le facteur d'érodibilité du sol. Ce facteur est une mesure de la vulnérabilité des particules de sol au détachement et au transport par la pluie et le ruissellement. La texture est le principal facteur qui influence le facteur K, mais la structure, la teneur en matière organique et la perméabilité du sol ont aussi un rôle à jouer (voir tableau en annexe n°5).

$$K = [2,1 * 10^{-4} * (12 - MO) * M^{1,14} + 3,25 * (S - 2) + 2,5 * (P - 3)]/100$$

**K** = Facteur d'érodibilité (compris entre 0 et 1)

**MO** = Matière Organique (en %)

**M** = (%sable fin + %limon)\*(100 - %argile)

**S** = Code de structure

- 1 : Très fine
- 2 : Fine
- 3 : Moyenne ou grossière
- 4 : Massive

**P** = Classe des perméabilités

- 1 : Rapide
- 2 : Moyenne à rapide
- 3 : Moyenne
- 4 : Lente à moyenne
- 5 : Lente
- 6 : Très lente

J'ai ensuite réalisé une classification des résultats de K comme suit :

- 0 à 0,40 : Très faible
- 0,41 à 0,50 : Faible
- 0,51 à 0,60 : Moyenne
- 0,61 à 0,70 : Forte
- 0,70 à 1 : Très forte

Cette équation m'a permis de produire une carte présente en annexe n°6, mettant en valeur les zones sensibles au phénomène d'érosion suivant la pédologie seule.

## G. L'occupation du sol

L'occupation du sol est une donnée également importante à prendre en compte lors de la modélisation. Elle a permis de déterminer les zones sensibles à l'érosion suivant leurs usages. C'est un facteur qui dépend fortement de l'activité humaine, qu'elle soit agricole ou urbaine.

Pour déterminer ce facteur, j'ai choisi d'utiliser l'OCS GE issue de l'IGN, cette donnée me paraissait être la plus complète et la plus accessible.

L'occupation du sol a été classée en 3 catégories (Voir carte en annexe n°7) :

- Formations arborées :
  - Feuillus CS 2.1.1 1
  - Conifères CS 2.1.1 2
  - Mixte CS 2.1.1 3
- Temporaire :
  - Sols nus CS 1.2.1
  - Surface d'eau CS 1.2.2
  - Formations arbustives, sous arbrisseaux CS 2.1.2
  - Autres formations ligneuses CS 2.1.3
  - Formations herbacées CS 2.2.1
- Artificiel :
  - Zone bâties CS 1.1.1 1
  - Zones non-bâties CS 1.1.1 2
  - Matériaux minéraux CS 1.1.2 1
  - Matériaux composites CS 1.1.2 2

J'ai choisi cette classification afin de déterminer les grands ensembles d'occupation du sol sur le département grâce à la classification de la couverture du sol présente sur le site de l'IGN (Voir figure 11). La classe « formations arborées » représente les éléments naturels ne variant peu ou pas, la classe « temporaire » représente les zones qui vont changer ou qui peuvent changer et la classe « artificiel » représente les zones immuables.

Cette étape a permis de mettre de côté les éléments artificiels (routes, bâtiments...) ainsi que les formations arborées pour ne retenir que la classe « temporaire »

IGN INSTITUT NATIONAL DE L'INFORMATION GEOGRAPHIQUE ET FORESTIERE		OCS GE SOCLE COUVERTURE DU SOL (CS)	
CS 1 Sans végétation	CS 1.1 Surfaces anthropisées	CS 1.1.1 Zones imperméables	CS 1.1.1.1 Zones bâties
			CS 1.1.1.2 Zones non bâties
		CS 1.1.2 Zones perméables	CS 1.1.2.1 Matériaux minéraux
			CS 1.1.2.2 Matériaux composites
	CS 1.2 Surfaces naturelles	CS 1.2.1 Sols nus	
		CS 1.2.2 Surfaces d'eau	
CS 1.2.3 Nèvés et glaciers			
CS 2 Avec végétation	CS 2.1 Végétation ligneuse	CS 2.1.1 Formations arborées	CS 2.1.1.1 Feuillus
			CS 2.1.1.2 Conifères
			CS 2.1.1.3 Mixte
	CS 2.2 Végétation non ligneuse		CS 2.1.2 Formations arbustives, sous-arbrisseaux
			CS 2.1.3 Autres formations ligneuses
			CS 2.2.1 Formations herbacées
		CS 2.2.2 Autres formations non ligneuses	
UMI   • Zones bâties : 200m <sup>2</sup> • Intérieur Zone construite : 500m <sup>2</sup> • Hors Zone construite : 2 500m <sup>2</sup>			

Figure 11 : Descriptif socle OCS GE

## H. Cartographie

La cartographie a été réalisée en trois phases, la première a consisté à produire une carte de sensibilité à l'érosion hydrique, la deuxième à produire une carte de risque à l'érosion hydrique et la troisième à valider les cartes produites en les comparant, entre autres, à des données d'observations de dégâts intervenus ces dernières années (base des interventions du Conseil Départemental du Gers sur les routes départementales).

### 8. La cartographie de la sensibilité

Pour réaliser la carte de sensibilité, les données suivantes ont été combinées et croisées à partir du tableau de pondération (voir figure 12) et de l'arbre de décision (voir annexe n°8) que j'ai conçus :

- L'occupation du sol
- La pente
- La pédologie
- La lithologie

	Facteur	Vulnérabilité	Correspondance table attributaire / matrice
Pédologie	K = 0 à 0,40	Très faible	<a href="#">pedo100</a>
	K = 0,41 à 0,50	Faible	<a href="#">pedo200</a>
	K = 0,51 à 0,60	Moyenne	<a href="#">pedo300</a>
	K = 0,61 à 0,70	Forte	<a href="#">pedo400</a>
	K = 0,71 à 1	Très forte	<a href="#">pedo500</a>
Lithologie	Faiblement imperméable	Faible	<a href="#">litho10</a>
	Moyennement imperméable	Moyenne	<a href="#">litho20</a>
	Fortement imperméable	Forte	<a href="#">litho30</a>
Pentes	0 à 2 %	Faible	<a href="#">pente100</a>
	2 à 5 %	Moyenne	<a href="#">pente200</a>
	5 à 11 %	Forte	<a href="#">pente300</a>
	> 11 %	Très forte	<a href="#">pente400</a>
Occupation du sol	Artificiel	Faible	<a href="#">occ10</a>
	Forêt	Moyenne	<a href="#">occ20</a>
	Temporaire	Forte	<a href="#">occ30</a>

Figure 12 : Tableau de pondération pour la carte de sensibilité à l'érosion hydrique

Les données ont été croisées en utilisant postgresQL à la suite de plusieurs traitements destinés à la préparation des quatre données :

Le premier traitement a consisté à convertir les géométries de multi-polygones à polygone simple (voir figure 13)

```
CREATE TABLE occ_simple AS
SELECT occupation_du_sol.geom, occupation_du_sol.categorie,
(ST_DUMP(occupation_du_sol.geom)).geom AS the_geom
FROM occupation_du_sol
```

Figure 13 : Script transformation des géométries

La seconde étape a consisté à simplifier la donnée par érosion / dilatation afin d'accélérer le temps de traitement (voir figure 14 et 15). Le résultat attendu en appliquant cette méthode est la suppression des polygones avec un rayon inférieur à 150 mètres.

```
64 CREATE TABLE pentes_moyenne_ero AS
65 SELECT pentes_moyenne.geom, pentes_moyenne.classe,
66 (ST_BUFFER(geom,-150)) as the_geom
67 FROM pentes_moyenne
68 GROUP BY classe, geom
```

Figure 14 : Script érosion

```
77 CREATE TABLE pentes_moyenne_dila AS
78 SELECT
79 classe,
80 (ST_BUFFER(the_geom,100)) as geom
81 FROM pentes_moyenne_dump
82 GROUP BY classe, the_geom
```

Figure 15 : Script dilatation

Une fois ces deux étapes réalisées, le croisement a pu être exécuté avec le script suivant (voir figure 16). Ce script permet donc le croisement de l’occupation du sol, de la pédologie, des pentes et de la lithologie suivant leurs géométries respectives mais aussi leurs différents attributs.

```
1 CREATE TABLE croisement AS
2 SELECT
3 occ_sol_dump.categorie,
4 pedo_dump.classif,
5 pentes_dump.classe,
6 litho.impermeabi,
7 st_intersection(st_intersection(st_intersection(
8 occ_sol_dump.the_geom,
9 pedo_dump.the_geom),
10 pentes_dump.the_geom),
11 ST_makevalid(litho.geom)) as the_geom
12 FROM occ_sol_dump, pedo_dump, pentes_dump, litho
```

Figure 16 : Script croisement des tables

La dernière étape a consisté à appliquer l’arbre de décision (présent en annexe n°8), sous forme de matrice de décision, déterminant la classe de sensibilité de chaque polygone suivant les attributs qui ont été conservés lors du croisement.

Le choix de l’arbre de décision a été discuté en réunion, c’est en échangeant avec les acteurs du territoire que les différents choix ont été soit réalisés soit confirmés. Il en ressort un point essentiel : le facteur pente et le facteur pédologie doivent être majoritairement pris en compte par rapport au facteur occupation du sol et au facteur lithologie. J’ai donc accordé une plus grande importance à ces deux facteurs lors de l’adaptation de la matrice afin de modéliser la sensibilité à l’érosion hydrique de la façon la plus réelle et la plus juste possible en m’appuyant sur les témoignages et l’expérience des personnes connaissant bien mieux que moi le territoire étudié.

```
1 UPDATE syntese_carte_simple SET t1 =
2 (SELECT type
3 FROM matrice
4 WHERE sensib = relation)
```

Figure 17 : Application de la matrice aux éléments structurels

Le script ci-dessus (figure 17) permet donc de déterminer la classe de sensibilité de chaque polygone présent sur la couche. Suite à une sémiologie catégorisée, j’ai pu obtenir la carte de sensibilité des sols à l’érosion hydrique dans le département du Gers (voir annexe n°9).

## 9. La cartographie du risque

Pour réaliser la carte de risque d'érosion hydrique, la donnée NDVI a été superposée à la classe forte de la carte de sensibilité des sols à l'érosion hydrique à l'aide d'un programme combinant le langage python et le langage SQL (voir figure 18 ci-dessous et script en annexe n°10).

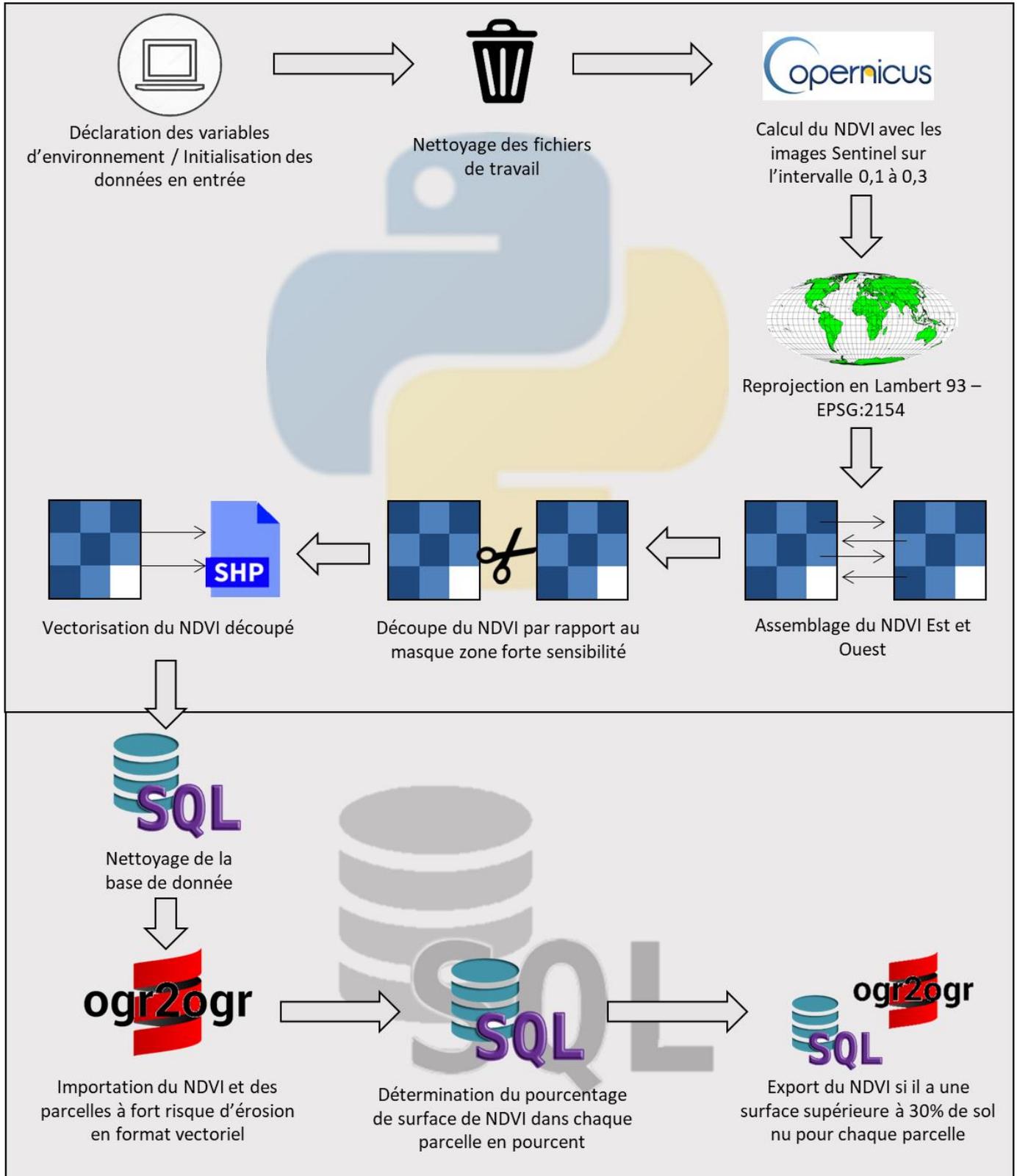


Figure 18 : Schéma du script d'automatisation de la cartographie du risque d'érosion hydrique

L'intérêt de ce script est de pouvoir mettre à jour la carte du risque d'érosion hydrique de façon hebdomadaire et ainsi pouvoir anticiper, quasiment en temps réel les zones potentiellement à risque dans le département.

Les tâches détaillées dans la figure 18 peuvent être réalisées par une personne physique, une à une, en utilisant les interfaces QGIS et PGADMIN, mais ce script a l'avantage d'exclure les problèmes de paramétrages et permet également un gain de temps considérable sachant qu'il réalise les tâches seul, sans interface, en un peu moins de deux heures (essai effectué sur plusieurs dates allant du 5 mai 2020 au 30 mai 2020).

Le choix de sélectionner un NDVI compris entre 0,1 et 0,3 a été longuement débattu, au même titre que le choix de définir un seuil >30% de sol nu par parcelle.

Afin de réaliser les choix finaux, j'ai réalisé un graphique (voir figure 19) où l'on peut observer les deux seuillages de NDVI qui étaient débattus. On peut voir qu'il n'y a qu'une très faible différence entre les deux courbes représentant les deux seuillages de NDVI (0 à 0,3 et 0,1 à 0,3). Afin de compenser la carte de sensibilité qui a été légèrement surestimée sur certaines zones, le NDVI de 0,1 à 0,3 a été conservé.

Toujours grâce à ce graphique on peut observer une cassure nette à 30 % de seuil de sol nu, c'est donc celui-ci qui a été conservé.

En annexe n°11, vous retrouverez la carte résultante de ce script d'automatisation.

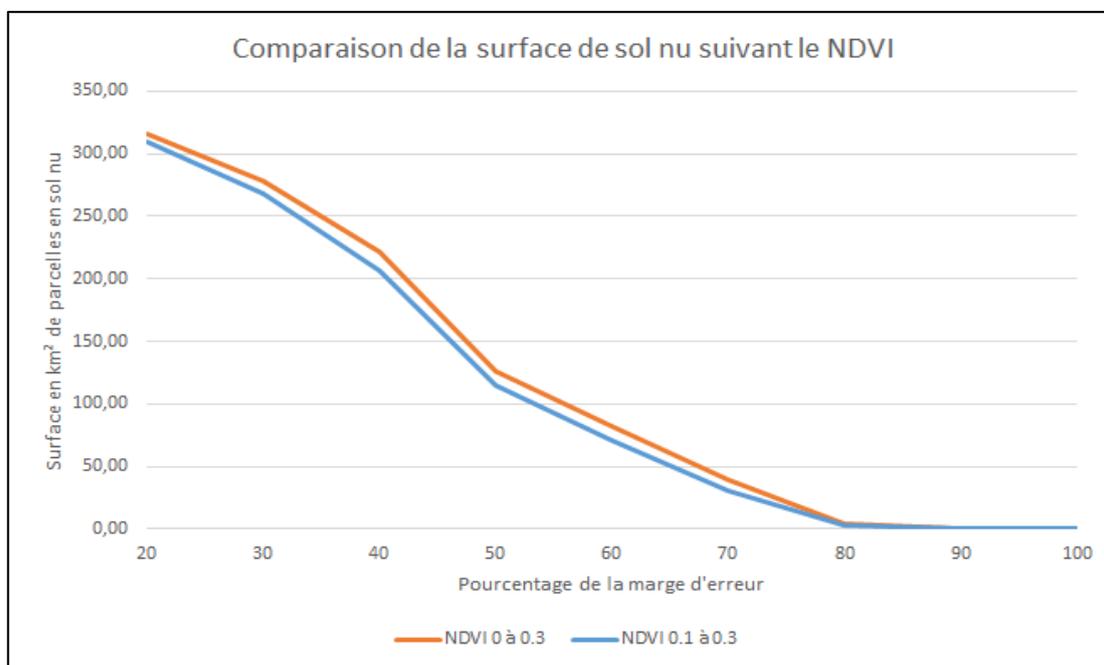


Figure 19 : Tableau comparatif NDVI et Seuillage du sol nu

La carte du risque à l'érosion hydrique est donc actualisable suivant la disponibilité des images satellites, les mois les plus à risque sont les mois d'avril à octobre car ceux-ci sont les plus assujettis au phénomène de battance (supérieur à 15 mm de précipitations dans un intervalle inférieur ou égal à 3 heures) suivant l'étude du phénomène pluviométrique présenté précédemment.

## 10. La validation

Afin de valider les cartes produites et les différents choix qui ont pu être faits tout au long de mon stage, plusieurs phases de validation et de discussions ont eu lieu :

Une première phase, de présentation et d'ajustement du modèle de la carte de sensibilité à l'érosion hydrique s'est déroulée lors de la réunion du 12 mai 2020 réunissant mes maîtres de stage et les différents acteurs du territoire membres du groupe de travail « Érosion hydrique » (l'animatrice du SAGE Adour amont, l'Association Arbre et Paysage 32, l'ADASEA 32, le Conseil Départemental 32, l'Agence de l'eau Adour Garonne et l'équipe du pôle IEDT).



Lors de cette réunion, un point fondamental a été relevé : les facteurs « pente » et « pédologie » n'étaient pas assez pris en compte. Ces échanges avec des experts du territoire ont donc permis d'ajuster le modèle en pondérant davantage ces deux données.

Une deuxième phase de validation de la carte de sensibilité (éléments structurels) a consisté à superposer la donnée du Conseil Départemental du Gers répertoriant les coulées de boues dans le département du Gers ayant donné lieu à des interventions de nettoyage et de remise en état du réseau départemental (donnée non exhaustive). Afin d'interpréter cette donnée au mieux, j'ai déterminé la distance du point de dégât à la zone classée comme à sensibilité forte à l'érosion hydrique (voir figure 20).

On peut considérer que le modèle est correct puisque ces zones de forte sensibilité correspondent bien à la localisation d'une majorité des points d'intervention. La distance est, dans la presque totalité, inférieure à 250 mètres, distance qui correspond à la marge de précision des deux principales données, la pente et la pédologie (échelle 1 :250 000). Par ailleurs, il faut noter que la données dégâts du Conseil départemental servant à la validation indique les zones d'atterrissement des boues (aval) alors que le modèle indique les zones sensibles à l'érosion (donc en amont). De plus, cette donnée concerne uniquement le réseau routier départemental.

Dégât n°	Distance du dégât à la zone sensible la plus proche
1	0 mètres
2	0 mètres
3	0 mètres
4	0 mètres
5	0 mètres
6	0 mètres
7	0 mètres
8	0 mètres
9	0 mètres
10	0 mètres
11	0 mètres
12	0 mètres
13	0 mètres
14	0 mètres
15	0 mètres
16	0 mètres
17	0 mètres
18	0 mètres
19	0 mètres
20	0 mètres
21	0 mètres
22	0 mètres
23	0 mètres
24	0 mètres
25	0 mètres
26	0 mètres
27	0 mètres
28	0 mètres
29	0 mètres
30	0 mètres
31	0 mètres
32	0 mètres
33	0 mètres
34	24 mètres
35	87 mètres
36	92 mètres
37	96 mètres
38	96 mètres
39	127 mètres
40	281 mètres

Figure 20 : Distance d'un dégât à la zone sensible la plus proche

Une troisième phase de validation du seuillage du NDVI, a consisté, par une photo interprétation à comparer un échantillon de 20 polygones de la couche vectorielle zone à risque d'érosion, issue du programme d'automatisation (présenté précédemment) sur une image Sentinel du 5 mai 2020 avec la même image brute affichée en vraies couleurs sous forme d'un VRT. J'ai utilisé une méthode de validation par pourcentage afin de déterminer la précision de mes échantillons (voir figure 21).

Parcelle n°	Superposition Photo-interprétation
1	Ok (80%)
2	Ok (95%)
3	Ok (95%)
4	Ok (95%)
5	Ok (80%)
6	Ok (100%)
7	Ok (100%)
8	Ok (95%)
9	Ok (90%)
10	Ok (90%)
11	Ok (95%)
12	Ok (90%)
13	Ok (95%)
14	Ok (95%)
15	Ok (95%)
16	Ok (100%)
17	Ok (80%)
18	Ok (95%)
19	Ok (100%)
20	Ok (95%)

Figure 21 : Superposition d'un échantillon de 20 polygones de la couche zone à risque à une image en vraies couleurs à la même date

La quatrième et dernière phase de validation, a été la superposition des données répertoriant les coulées de boues du Conseil départemental du Gers à la carte du risque à l'érosion hydrique du mois de mai 2018 (période étant la plus représentée par des dégâts de coulées de boues dans cette base de données).

Cette méthode de validation est similaire à la seconde phase que j'ai présentée précédemment, cette analyse a permis de conforter à la fois la carte de sensibilité mais aussi la carte du risque à l'érosion hydrique produite par le programme d'automatisation, les deux étant liées (voir figure 22).

Dégât n°	Distance du dégât à la zone à risque d'érosion la plus proche
1	1 mètre
2	2 mètres
3	2 mètres
4	2 mètres
5	2 mètres
6	5 mètres
7	5 mètres
8	7 mètres
9	8 mètres
10	8 mètres
11	11 mètres
12	23 mètres
13	28 mètres
14	30 mètres
15	39 mètres
16	62 mètres
17	62 mètres
18	96 mètres
19	98 mètres
20	100 mètres
21	174 mètres
22	186 mètres
23	186 mètres
24	188 mètres
25	191 mètres
26	202 mètres
27	241 mètres
28	318 mètres
29	330 mètres
30	367 mètres
31	389 mètres
32	396 mètres
33	402 mètres
34	413 mètres
35	421 mètres
36	421 mètres
37	458 mètres
38	534 mètres
39	576 mètres
40	712 mètres

Figure 22 : Distance d'un dégât à une zone à risque d'érosion la plus proche

Ces validations répondent aux spécificités techniques des différentes données en entrée, en effet, l'étude possède des limites au vu de la diversité de précision des données et de l'étendue de la zone d'étude.

À ces quatre phases se rajoutent de nombreux échanges au cours de mon stage avec des membres d'autres services de la DDT, de mes professeurs et des membres du groupe érosion hydrique. Ces échanges ont principalement concerné l'interprétation de l'élément « sol » et l'accessibilité à la donnée pédologique mais également à son interprétation qui a été longuement discutée et débattue.

#### IV. Résultats

Cette étude m'a permis de produire deux cartes, une **carte des zones sensibles** à l'érosion hydrique (voir annexe n°9), comprenant les quatre éléments structurels (pentes, occupation du sol, lithologie et pédologie) et une **carte des zones à risque** à l'érosion hydrique se basant sur la carte de sensibilité (uniquement les zones classées en tant que forte sensibilité à l'érosion hydrique) en ajoutant le NDVI compris entre 0,1 et 0,3 uniquement afin de ne prendre que les données considérées comme sol nu (voir annexe n°11).

Cette étude présente toutefois quelques limites :

- L'étendue de la zone d'étude a posé des problèmes lors des temps de traitement des données, de plus, j'ai dû exclure certains logiciels qui n'étaient pas adaptés ou qui étaient trop lents pour les différents traitements face à ces données volumineuses.
- Toujours en conséquence de l'étendue de la zone d'étude, les données en entrée sont très hétérogènes en termes de précision ce qui peut entraîner une difficulté d'interprétation des deux cartes résultantes.
- La simplification de la donnée par érosion dilatation a permis de rendre la précision des différentes données plus homogène, au détriment de la précision générale du modèle.

Enfin, l'étude n'a pu être entièrement terminée au vu de la durée de mon stage et des temps de traitement très importants. En effet, quatre données doivent encore être croisées à la carte du risque à l'érosion hydrique qui permettraient de localiser de façon plus précise les zones qui peuvent être dégradées lors de fortes précipitations : La donnée bassins versants, la donnée ruissellement, la donnée écoulement et la donnée accumulation.

Cette étude pourrait être améliorée en tenant compte des propositions suivantes :

- L'interprétation du facteur K de la donnée pédologique pourrait être revue, ce facteur a été analysé en suivant une méthodologie stricte mais mon interprétation des valeurs n'est pas optimale en raison de mes connaissances très limitées dans ce domaine complexe.
- En ce qui concerne la carte de la sensibilité à l'érosion hydrique, je pense qu'il n'y a pas lieu de simplifier les quatre données si le temps de calcul nécessaire qui va découler de ce choix est raisonnable. Cependant, cet élément n'enlève en rien l'atteinte des objectifs du stage, car cette spécificité a été mentionnée dès le début de l'étude.
- En rapport avec la carte du risque d'érosion hydrique, je pense qu'il serait intéressant de partir des zones moyennes et fortes sensibilités à l'érosion hydrique (actuellement, dans la carte du risque à l'érosion hydrique, il n'est pris en compte que les zones fortes). Ce choix pourrait permettre de définir deux types de zone à risque à l'érosion hydrique. Cependant, ce choix entraînerait un temps d'actualisation plus conséquent.
- Comme mentionné dans les limites de l'étude, quatre données géomorphologiques manquent encore au modèle final, une fois intégrées, la carte ne sera que plus polyvalente et complète suivant les besoins des acteurs du territoire.

## Conclusion

La lutte contre l'érosion hydrique est, et va devenir un enjeu majeur dans les prochaines années. La réalisation de cette modélisation actualisable quasiment en temps réel va permettre de mieux comprendre ce phénomène mais également de pouvoir prévoir et réaliser des aménagements et des actions visant à réduire les risques d'érosions sur les zones sensibles ou à risques.

De plus, la possibilité de pouvoir déterminer les zones à risques d'érosions hydrique sur les années antérieures me semble un point important et intéressant afin de pouvoir mieux comprendre le phénomène en le comparant à des bases de données des acteurs du territoire.

La méthodologie qui a été développée dans cette étude se base sur une source de données très variées (IGN, CNRS, ESA, BRGM...), ce choix a été fait principalement au regard de la disponibilité des données à la DDT 32, mais cette approche s'est montrée particulièrement efficace dans la cartographie des zones sensibles et/ou à risque d'érosion hydrique dans le département du Gers à en croire les nombreux retours qui ont déjà pu être faits sur les deux cartographies.

Cette modélisation représente un point de départ non négligeable pour les différents et nombreux acteurs du territoire, répondant directement aux quatre objectifs de mon stage. En effet, cette modélisation permet, dans un premier temps, de définir le phénomène et d'identifier les zones sensibles à l'érosion hydrique dans le département du Gers, et dans un second temps, de décliner des actions concrètes sur le terrain afin de lutter contre ce phénomène grâce à la carte du risque d'érosion hydrique actualisable de façon hebdomadaire (suivant la disponibilité des données satellitaires).

Sur le plan personnel, ce stage m'a permis de découvrir le fonctionnement de la Direction Départementale des Territoires du Gers et il m'a également apporté de nombreuses connaissances techniques sur des interfaces que je connaissais déjà mais que je ne maîtrisais qu'assez peu. J'ai également pu approfondir ma connaissance du langage SQL et du langage Python. Le sujet permettait en effet de découvrir un large éventail de solutions techniques, d'outils et de méthodes à utiliser et articuler pour parvenir à ses fins.

Cette expérience a été également très intéressante sur la diversité des domaines (pédologie, télédétection, hydrologie, urbanisme, environnement...) et des acteurs rencontrés.

Il est certain que cette expérience au sein de la DDT 32 n'a pu qu'enrichir mes compétences professionnelles et ma connaissance du fonctionnement du service public, même durant cette période particulière de confinement lié à la crise sanitaire.

Enfin, cette expérience représente une plus-value indispensable à mon curriculum vitae, dans mon actuelle recherche d'emploi en tant que gestionnaire des milieux aquatiques.

## Remerciements

Suite à ce stage, je tiens à adresser mes remerciements à toutes les personnes m'ayant accompagné tout au long de cette année de formation.

Dans un premier temps, je tiens à remercier l'ensemble de l'équipe pédagogique de la Licence Professionnelle Génie Géomatique pour l'Aménagement du Territoire, qui a su me préparer à réaliser au mieux les tâches qui m'ont été confiées lors de ce stage et, je l'espère, dans ma future vie professionnelle.

Dans un second temps, je tiens à remercier l'équipe du pôle IEDT :

- Nathalie MANZO qui m'a permis d'intégrer au mieux la Direction Départementale des Territoires du Gers en me faisant découvrir ses services et son fonctionnement.
- Pascal ASTRUC qui m'a très largement accompagné sur le volet technique de ce stage, qui a su répondre à mes nombreuses interrogations tout au long de celui-ci.
- Philippe ESPINASSE qui m'a accompagné sur le volet des études existantes et des données de validation du modèle.

Ayant collaboré avec plusieurs personnes pendant mon stage, je tiens également à remercier les membres du groupe « Érosion hydrique ». J'ai pu échanger avec eux pendant mon stage sur des questions de données à utiliser, de classification de certaines données et de leur traitement respectif, mais aussi sur les deux cartes résultantes de mon travail, avec leurs connaissances du territoire.

Enfin, je désire adresser mes remerciements à l'ensemble des personnes que j'ai pu rencontrer dans le cadre de mon stage pour leurs conseils et leur sympathie qui ont favorisé mon intégration à la Direction Départementale des Territoires du Gers.

## Liste des figures

- Figure 1 : Organigramme de la Direction Départementale des Territoires
- Figure 2 : Méthodologie de la modélisation
- Figure 3 : Schéma du traitement de la donnée météorologique
- Figure 4 : Graphique du cumul pluviométrique efficace sur le département du Gers de 1971 à 2016 (45 ans)
- Figure 5 : Capture d'écran script Python
- Figure 6 : Ligne de commande intégration des fichiers dans PostGis grâce à OGR2OGR
- Figure 7 : Capture d'écran script SQL
- Figure 8 : Tableau intensité pluviométrique
- Figure 9 : Graphique Intensité pluviométrique par tranche horaire de 3 heures
- Figure 10 : Graphique de la combinaison du cumul et de l'intensité pluviométrique
- Figure 11 : Descriptif socle OCS GE
- Figure 12 : Tableau de pondération pour la carte de sensibilité à l'érosion hydrique
- Figure 13 : Script transformation des géométries
- Figure 14 : Script érosion
- Figure 15 : Script dilatation
- Figure 16 : Script croisement des tables
- Figure 17 : Application de la matrice aux éléments structurels
- Figure 18 : Schéma du script d'automatisation de la cartographie du risque d'érosion hydrique
- Figure 19 : Tableau comparatif NDVI et Seuillage du sol nu
- Figure 20 : Distance d'un dégât à la zone sensible la plus proche
- Figure 21 : Superposition d'un échantillon de 20 polygones de la couche zone à risque à une image en vraies couleurs à la même date
- Figure 22 : Distance d'un dégât à une zone à risque d'érosion la plus proche

## Glossaire

**ADASEA** : Association de Développement, d'Aménagement et de Services en Environnement et en Agriculture  
**Battance** : Représente le caractère d'un sol tendant à se désagréger et à former une croûte en surface sous l'action de la pluie ou d'un piétinement important.  
**BDT 32** : Banque de Données Territoriales du Gers  
**BRGM** : Bureau de Recherches Géologiques et Minières  
**CAUE 32** : Conseil d'Architecture, d'Urbanisme et de l'environnement du Gers  
**CD 32** : Conseil Départemental du Gers  
**Copernicus** : Programme européen de surveillance de la Terre  
**DCE** : Directive Cadre sur l'Eau  
**DDT 32** : Direction Départementale des Territoires du Gers  
**EcoLab** : Laboratoire Écologie Fonctionnelle et Environnement  
**Érodibilité** : Sensibilité d'un sol face au phénomène d'érosion  
**Érosion hydrique** : Phénomène naturel de dégradation des sols par entrainement de sédiments, résultant de la combinaison de plusieurs facteurs naturels et qui peut être aggravé par l'action de l'homme  
**Érosivité** : Capacité des éléments climatiques à dégrader un sol dans sa structure  
**ESA** : European Space Agency  
**Évapotranspiration** : Processus par lequel les êtres vivants (végétaux majoritairement) perdent de l'eau sous forme de vapeur, correspondant à une perte d'eau due à deux phénomènes : l'évaporation de l'eau sol et des systèmes aqueux, et la transpiration des plantes et animaux  
**Éxutoire** : Point de sortie d'un bassin versant où convergent toutes les eaux de cet espace qui est lui-même délimité par les lignes de crêtes  
**Fichier .csv** : « Fichier Comma-Separated Values »  
**Fichier .tif** : « Tagged Image File Format »  
**Fichier .shp** : Fichier de forme  
**Géomorphologie** : Domaine scientifique concernant l'étude des reliefs et des processus qui les façonnent.  
**IEDT** : Information, Expertise et Développement du Territoire (Pôle à la DDT 32)  
**INRAE** : Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement  
**IGN** : Institut national de l'information géographique et forestière  
**MNT** : Modèle Numérique de Terrain  
**NDVI** : Normalized Difference Vegetation Index (Indice de végétation par différence normalisé)  
**SAD** : Service Agriculture Durable (Service à la DDT32)  
**SAGE** : Schéma d'Aménagement et de Gestion de l'Eau  
**SCT** : Service Cohésion des Territoires (Service à la DDT32)  
**SER** : Service Eau et Risques (Service à la DDT32)  
**SIG** : Système d'Information Géographique  
**SQL** : Structured Query Language (Langage de requêtes structuré)  
**STP** : Service Territoire et Patrimoine (Service à la DDT32)  
**Sol saturé en eau** : Quand le sol ne contient plus d'espaces vides, le sol est saturé et il forme alors une nappe (qui peut être temporaire)  
**OCS GE** : Occupation du Sol à Grande Échelle  
**OGR2OGR** : Module permettant, entre autres, la conversion, la reprojection, l'importation ou l'exportation de données spatiales  
**Open data** : Donnée libre de droit  
**Pédo-paysage** : Représentation virtuelle et cartographique du paysage formé par la mosaïque des sols  
**PIR** : Proche Infrarouge  
**Piémont Pyrénéen** : Désigne une zone de relief de basses montagnes ou de collines, relativement peu accidentée  
**Pluviométrie efficace** : Les précipitations efficaces représentent la quantité d'eau fournie par les précipitations qui reste disponible à la surface du sol, après soustraction des pertes par évapotranspiration réelle.  
**Point nadir** : Point de passage d'un satellite  
**Wget** : Windows Package Manager

## Sources

*Photographie page de couverture :*

<https://www.gannett-cdn.com/-mm-/dd81f7b80aef18fc9ff3cd911b276728a9998bb7/c=0-306-3264-2142/local/-/media/DesMoines/2014/05/03/erosionexamples007.jpg?width=3200&height=1680&fit=crop>

*Figure 1 :*

<http://www.gers.gouv.fr/Services-de-l-Etat/Agriculture-environnement-amenagement-et-logement>

*Méthodologie inspirée de :*

[https://www.jle.com/fr/revues/sec/e-docs/insecurite\\_climatique\\_et\\_georisques\\_en\\_cote\\_divoire\\_etude\\_du\\_risque\\_derosion\\_hydrique\\_des\\_sols\\_dans\\_la\\_region\\_semi\\_montagne\\_273887/article.phtml](https://www.jle.com/fr/revues/sec/e-docs/insecurite_climatique_et_georisques_en_cote_divoire_etude_du_risque_derosion_hydrique_des_sols_dans_la_region_semi_montagne_273887/article.phtml)

*Images satellites :*

<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>  
<https://theia.cnes.fr/atdistrib/rocket/#/search?collection=SENTINEL2>

*Arbre de décision inspiré de :*

[https://www.researchgate.net/figure/Arbre-decisionnel-pour-la-réalisation-de-la-carte-de-sensibilite-des-sols-a-lerosion\\_fig2\\_272801366](https://www.researchgate.net/figure/Arbre-decisionnel-pour-la-réalisation-de-la-carte-de-sensibilite-des-sols-a-lerosion_fig2_272801366)

*Téléchargement des données Météo France :*

[https://donneespubliques.meteofrance.fr/donnees\\_libres/Txt/Synop/Archive/synop.201001.csv.gz](https://donneespubliques.meteofrance.fr/donnees_libres/Txt/Synop/Archive/synop.201001.csv.gz)

*Figure 12 :*

[https://artificialisation.biodiversitetousvivants.fr/sites/artificialisation/files/inline-files/ Marque%20page\\_OCS\\_GE\\_sept207\\_RV\\_V3-1\\_0.png](https://artificialisation.biodiversitetousvivants.fr/sites/artificialisation/files/inline-files/ Marque%20page_OCS_GE_sept207_RV_V3-1_0.png)

*Banque de Donnée Territoriales du Gers (BDT32) :*

<https://bdt.gers.fr/>

## Table des Annexes

Annexe n°1 : Cartographie de la pente classifiée dans le département du Gers (32)

Annexe n°2 : Cartographie des bassins versants et des écoulements dans le département du Gers (32)

Annexe n°3 : Cartographie du ruissellement et des zones d'accumulation dans le département du Gers (32)

Annexe n°4 : Classification de l'imperméabilité lithologique dans le département du Gers (32)

Annexe n°5 : Tableau calcul du facteur K

Annexe n°6 : Cartographie de la pédologie classifiée suivant le facteur K dans le département du Gers (32)

Annexe n°7 : Classification de l'occupation du sol dans le département du Gers (32)

Annexe n°8 : Arbre de décision

Annexe n°9 : Cartographie de la sensibilité des sols à l'érosion hydrique dans le département du Gers (32)

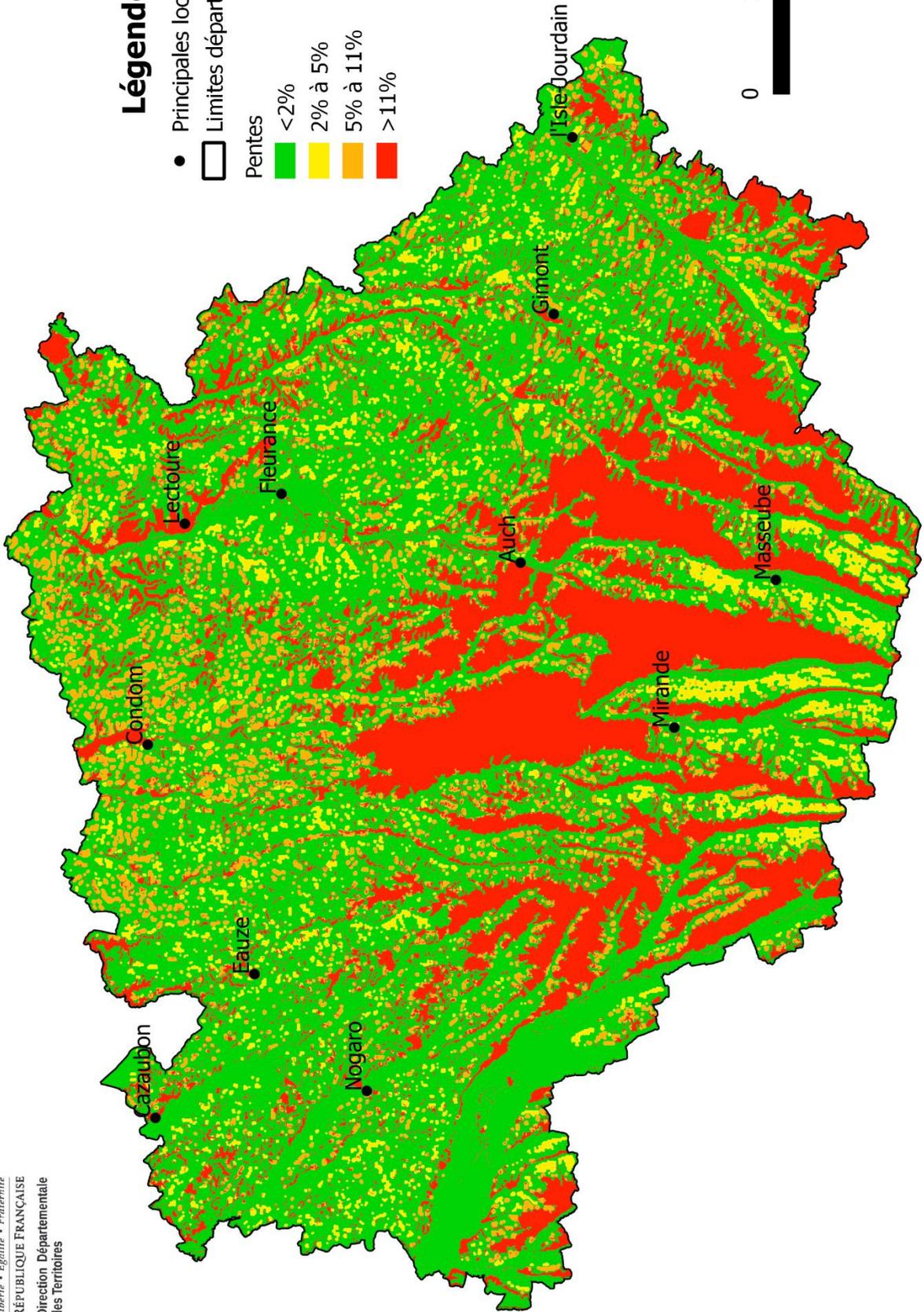
Annexe n°10 : Script automatisation de la mise à jour de la carte de risque à l'érosion hydrique

Annexe n°11 : Cartographie du risque à l'érosion hydrique dans le département du Gers (32)

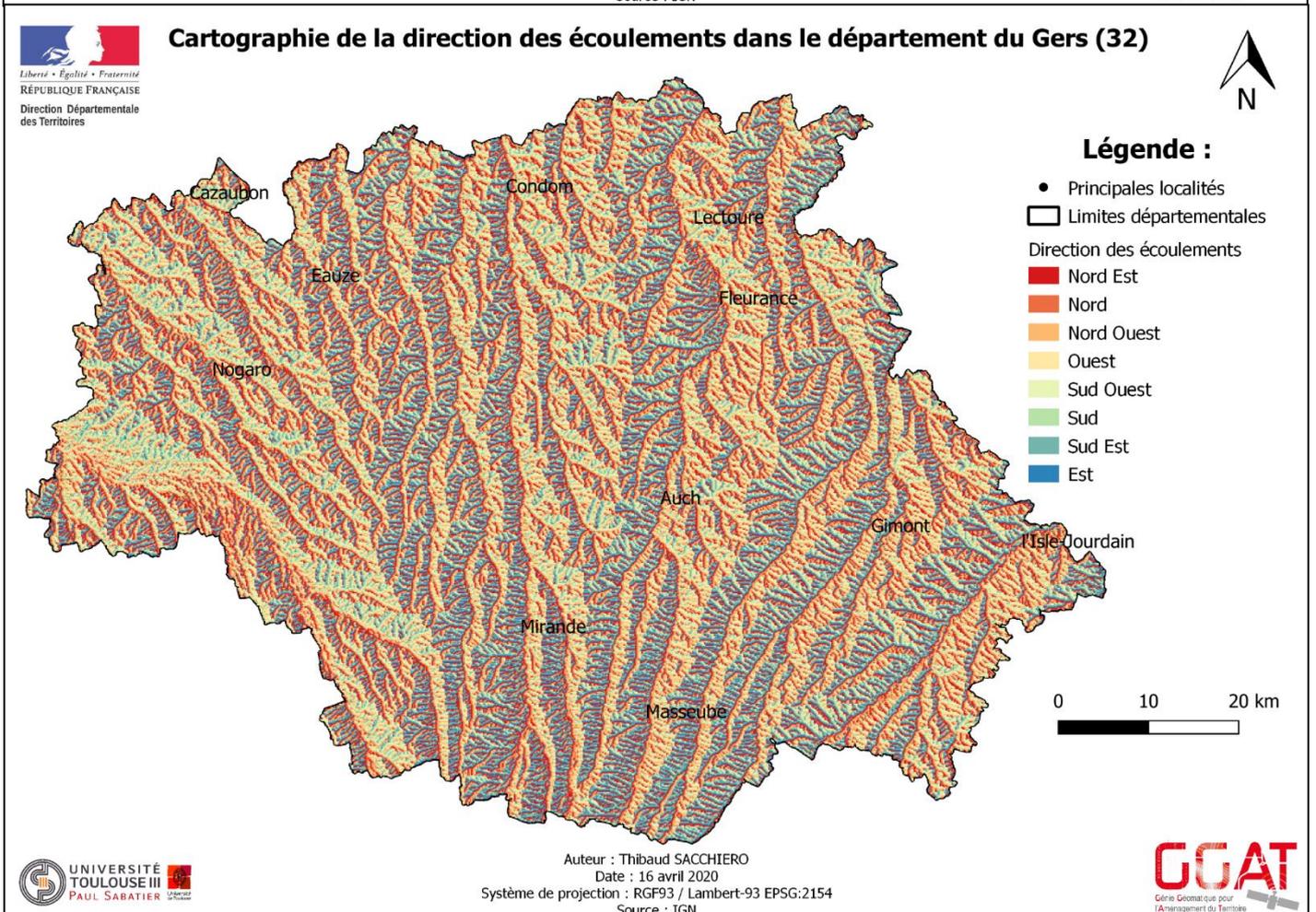
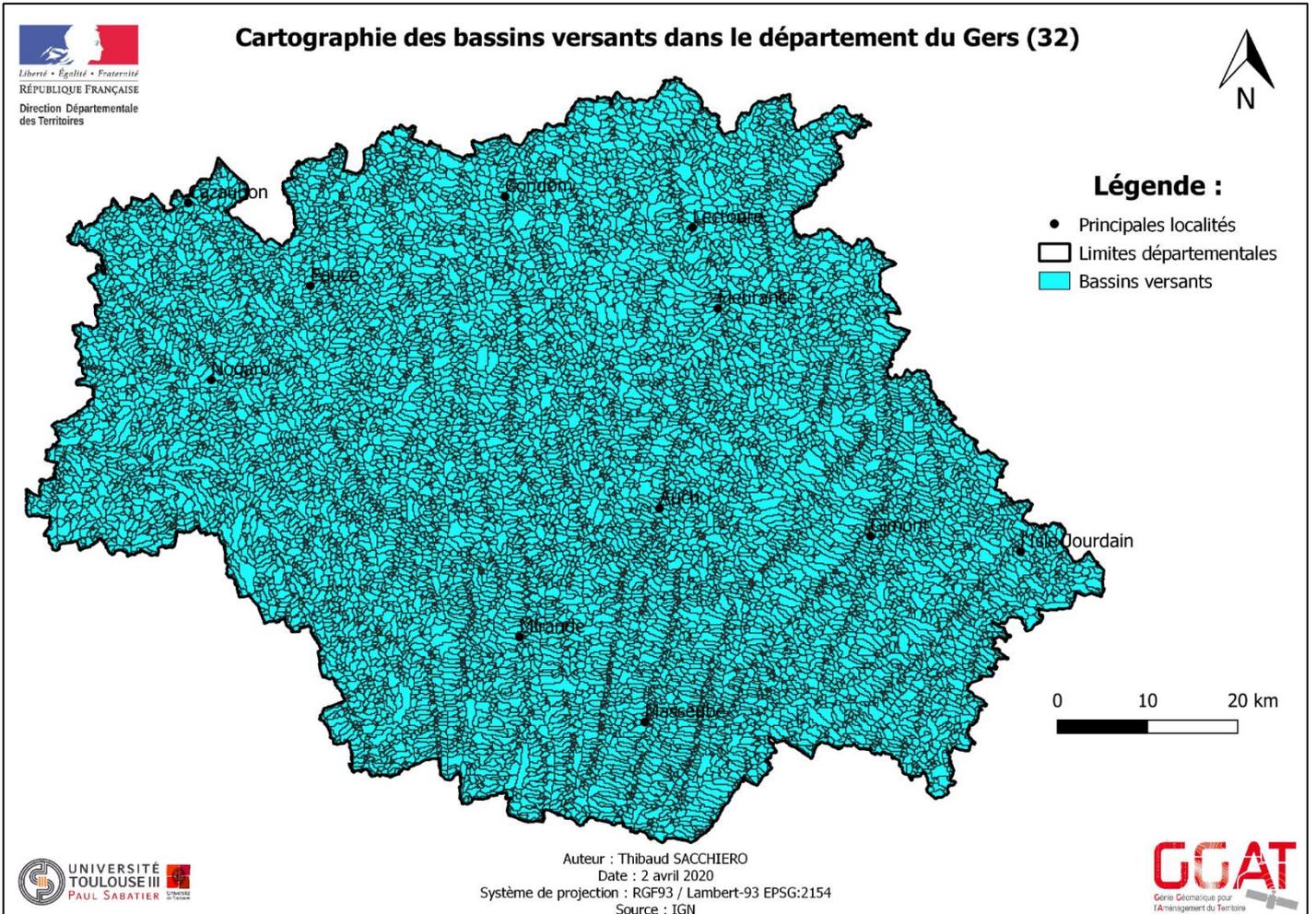
# Cartographie de la pente classifiée dans le département du Gers (32)



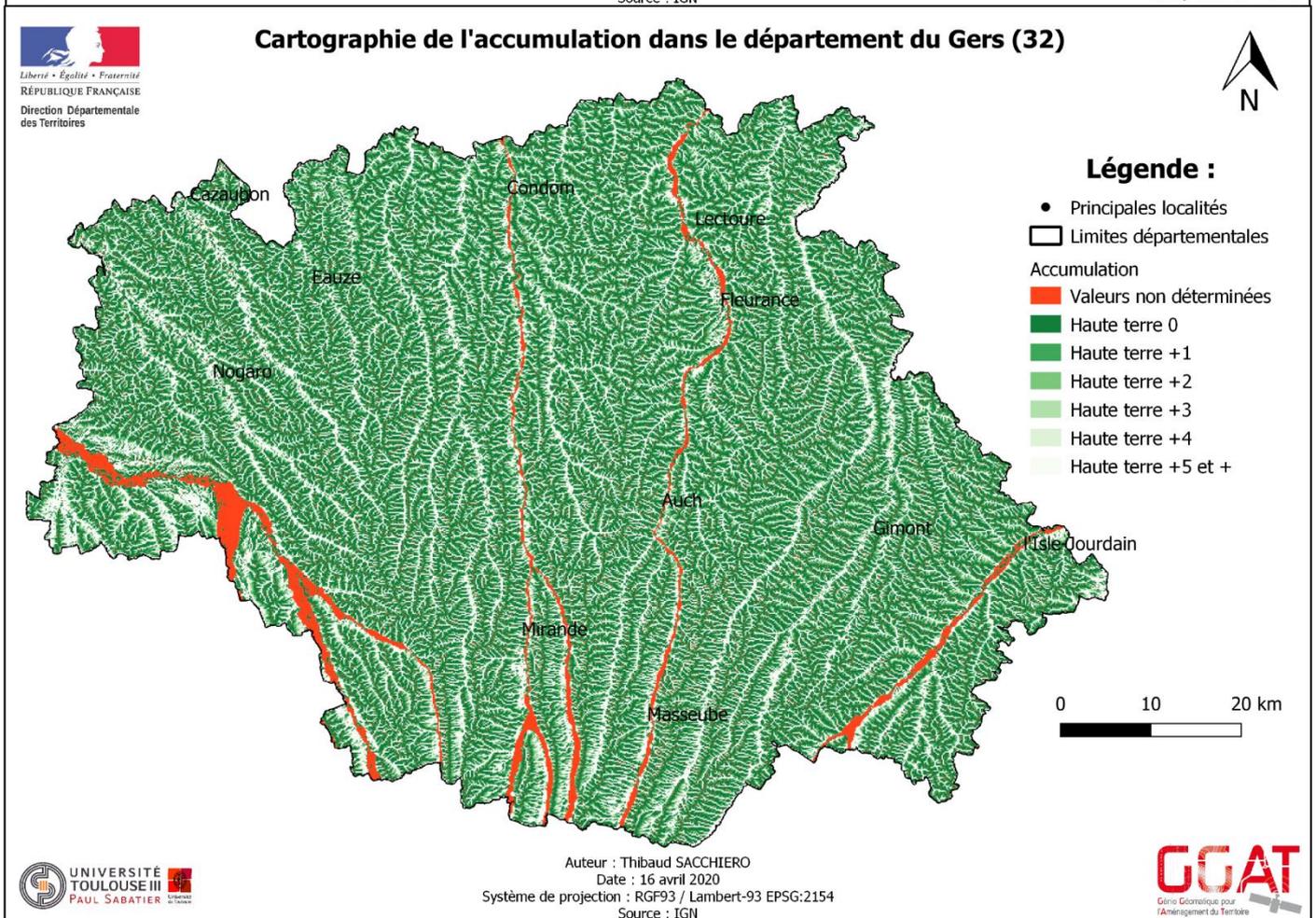
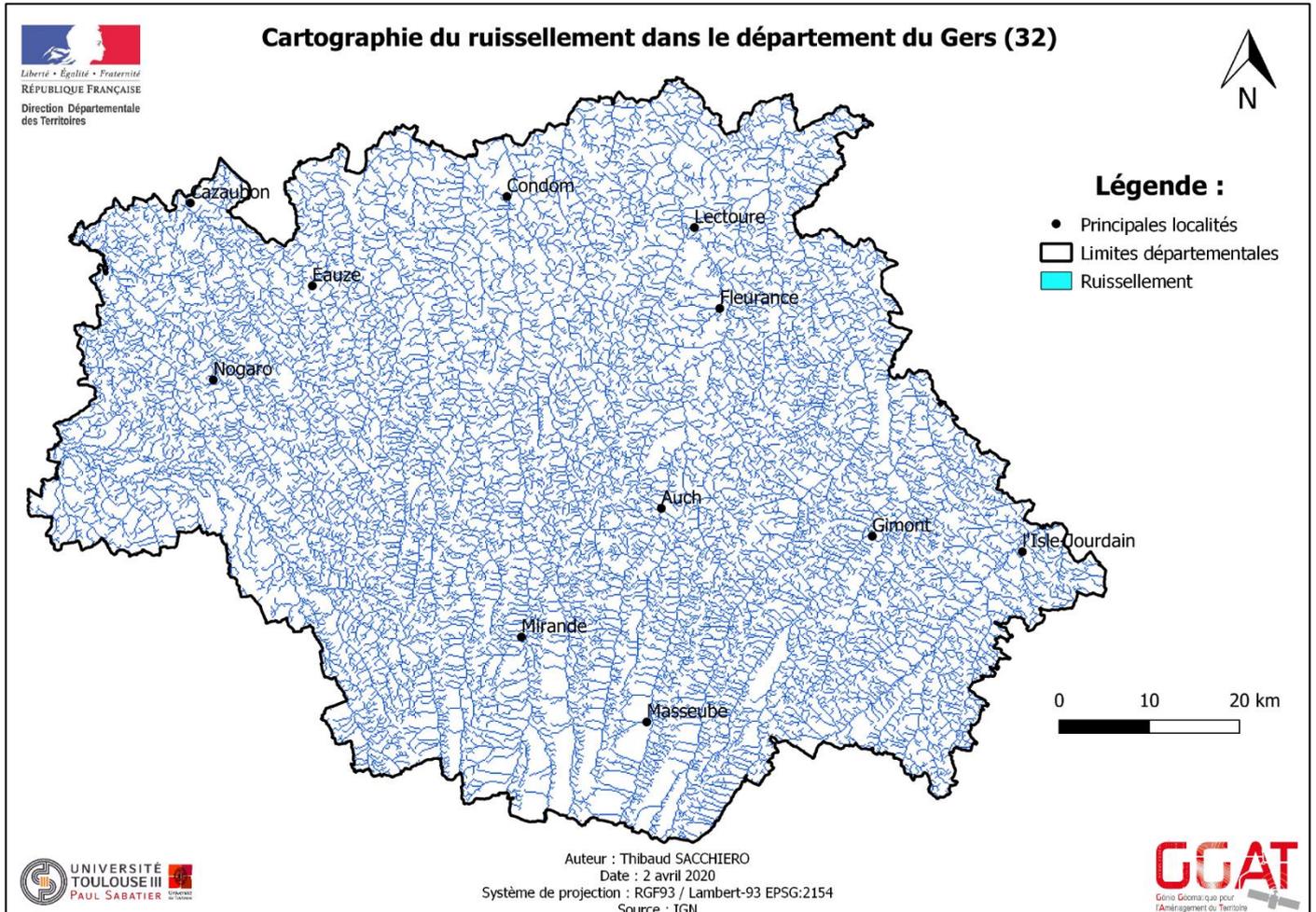
- Légende :**
- Principales localités
  - Limites départementales
- Pentes
- < 2%
  - 2% à 5%
  - 5% à 11%
  - > 11%



## Annexe n°2 : Cartographie des bassins versants et des écoulements dans le département du Gers (32)



Annexe n°3 : Cartographie du ruissellement et des zones d'accumulation dans le département du Gers (32)

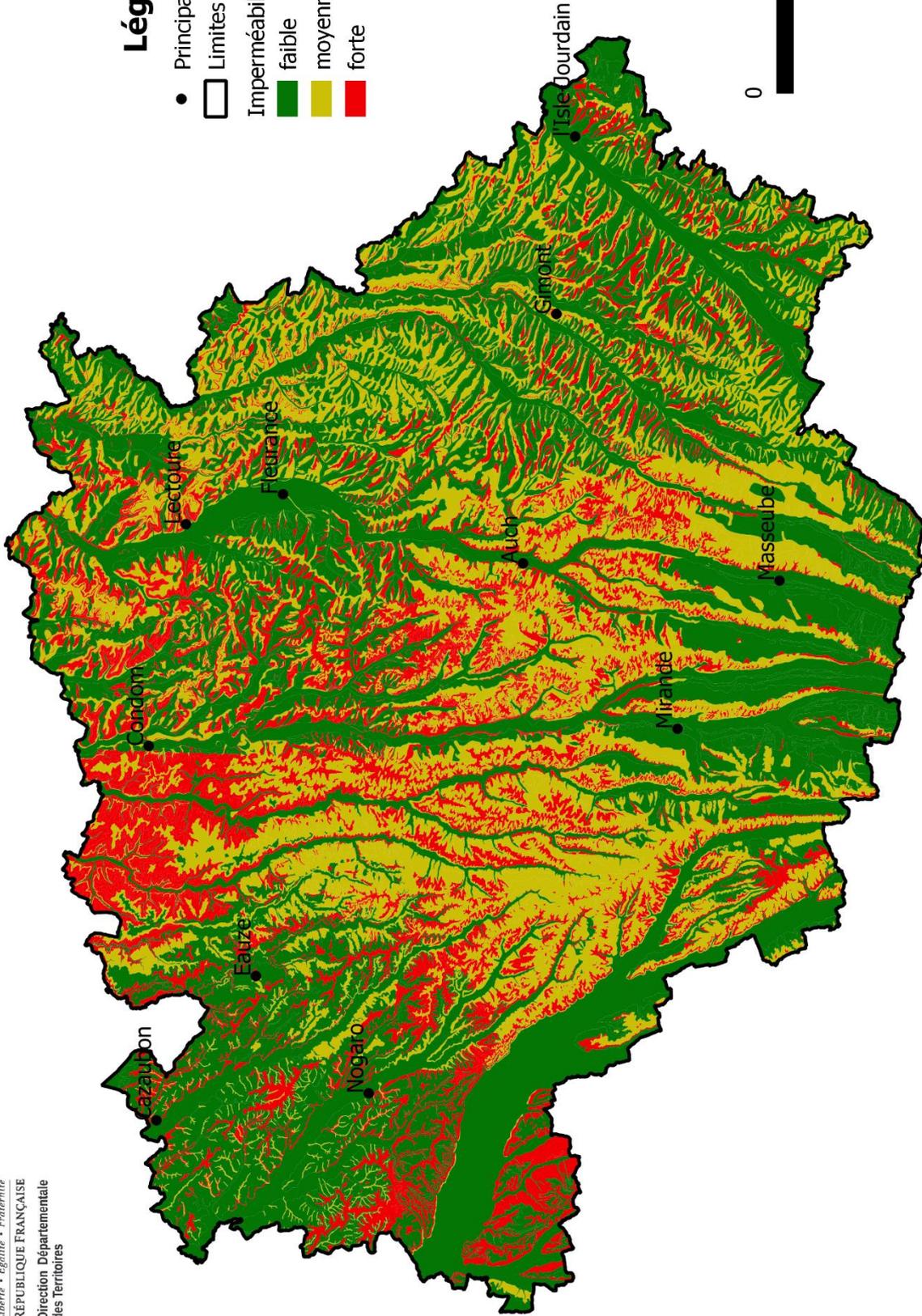


# Classification de l'imperméabilité lithologique dans le département du Gers (32)



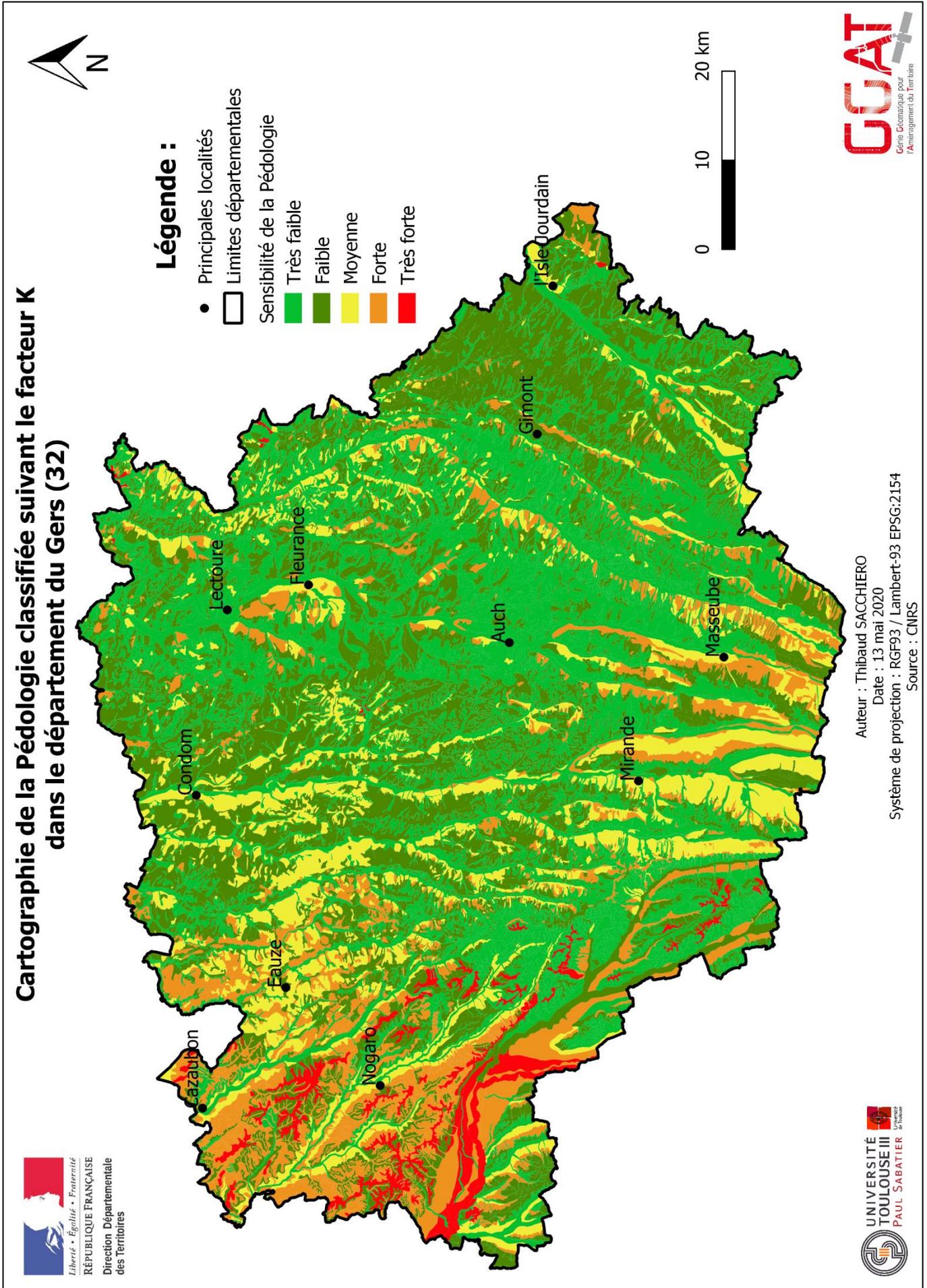
## Légende :

- Principales localités
  - Limites départementales
- Imperméabilité
- faible
  - moyenne
  - forte



**Annexe 5 : Tableau calcul du facteur K**

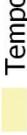
NO_UCS	ID_UCS	ID_UTS	ARGILE (en%)	LIMON (en%)	SABLE (en%)	MO (en%)	S	P		K	Sensibilité
1101	15404	24526	43	47	10	1,5	1	3		0,33	Très faible
1102	15405	24528	43	47	10	1,5	1	4		0,35	Très faible
1110	15406	24530	9	40	51	2	2	2		0,73	Très forte
1111	15407	24531	40	47	11	1,5	1	3		0,35	Très faible
1201	15408	24532	18	42	40	2	3	4		0,68	Forte
1202	15409	24533	6	40	54	2	2	2		0,78	Très forte
1203	15410	24534	40	30	30	2	1	6		0,42	Faible
1211	15411	24535	14	65	21	1	2	3		0,73	Très forte
2101	15412	24536	32	48	20	2,5	1	6		0,48	Faible
2102	15413	24537	48	32	20	2,5	1	6		0,35	Très faible
2103	15414	24542	40	25	35	3	1	6		0,40	Très faible
2110	15798	24538	35	36	29	1	4	5		0,57	Moyenne
2200	15417	24541	32	40	28	2,5	1	1		0,36	Très faible
3101	15418	24547	22	51	25	2	1	3		0,53	Moyenne
3102	15419	24549	12	48	40	2	1	3		0,68	Forte
3103	15420	24550	24	54	21	1,5	1	4		0,55	Moyenne
3111	15421	24550	24	54	21	1,5	1	4		0,55	Moyenne
3112	15422	24551	18	42	40	1,5	1	4		0,64	Forte
3121	15423	24552	12	48	40	1,5	1	3		0,71	Très forte
3201	15424	24553	12	65	23	1	1	3		0,73	Très forte
3202	15425	24554	10	65	25	1,5	1	3		0,74	Très forte
3301	15426	24555	10	65	15	1	1	3		0,68	Forte
3302	15427	24556	12	48	40	1,5	1	3		0,71	Très forte
3303	15428	24557	22	55	23	2	1	4		0,57	Moyenne
4201	15430	24559	10	40	50	2	1	3		0,71	Très forte
4202	15431	24561	18	55	27	1,5	1	3		0,62	Forte
4301	15432	24562	26	56	20	2	1	4		0,53	Moyenne
4302	15433	24563	6	40	54	2	2	2		0,78	Très forte
4303	15434	24564	40	50	10	2	1	5		0,40	Très faible
5101	15435	24566	30	40	20	0,1	3	4		0,53	Moyenne
5201	15436	24567	10	70	20	2	2	3		0,74	Très forte
5202	15437	24568	25	58	22	1,5	1	4		0,58	Moyenne
5301	15438	24569	25	55	20	3	1	3		0,46	Faible
5401	15439	24572	38	50	12	1,5	1	5		0,43	Faible
5500	15440	24574	14	15	71	3	2	3		0,63	Forte
5501	15441	24576	9	30	61	2	2	1		0,70	Forte
5502	15451	24578	13	12	75	2	2	2		0,67	Forte
5503	15442	24579	20	12	58	2	1	3		0,50	Faible
6100	15443	24537	48	32	20	1,5	1	5		0,34	Très faible
6200	15444	24580	25	42	33	3	1	4		0,49	Faible
7101	15797	24582	25	55	20	4	2	4		0,48	Faible
7200	15445	24582	25	55	20	4	1	3		0,42	Faible
8100	15446	24584	8	12	80	1,5	2	1		0,75	Très forte
8101	15449	24585	6	20	74	4	1	1		0,59	Moyenne
8102	15448	24578	13	12	75	2	1	3		0,66	Forte
8103	15450	24579	20	12	58	2	1	4		0,53	Moyenne

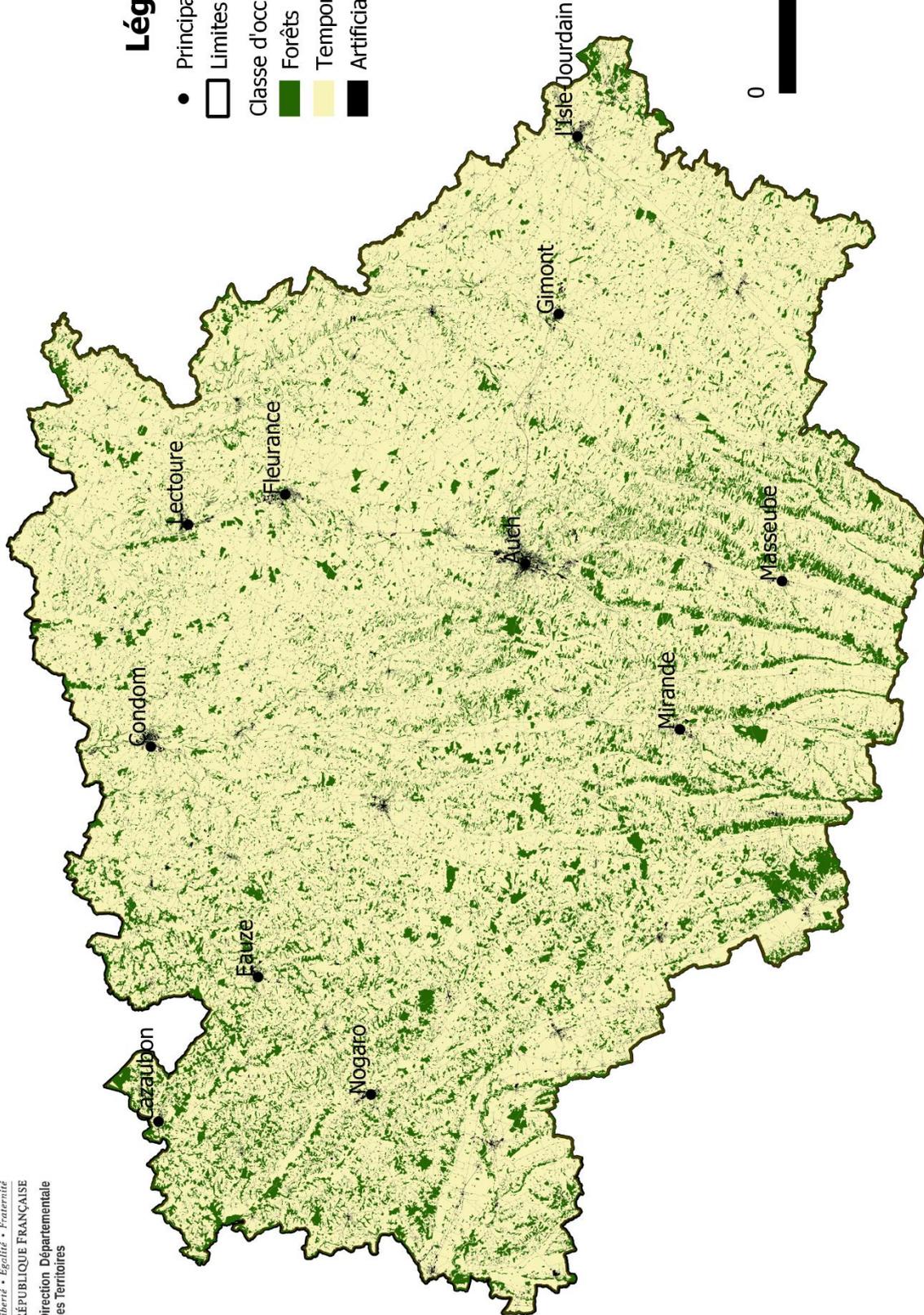


## Classification de l'occupation du sol dans le département du Gers (32)



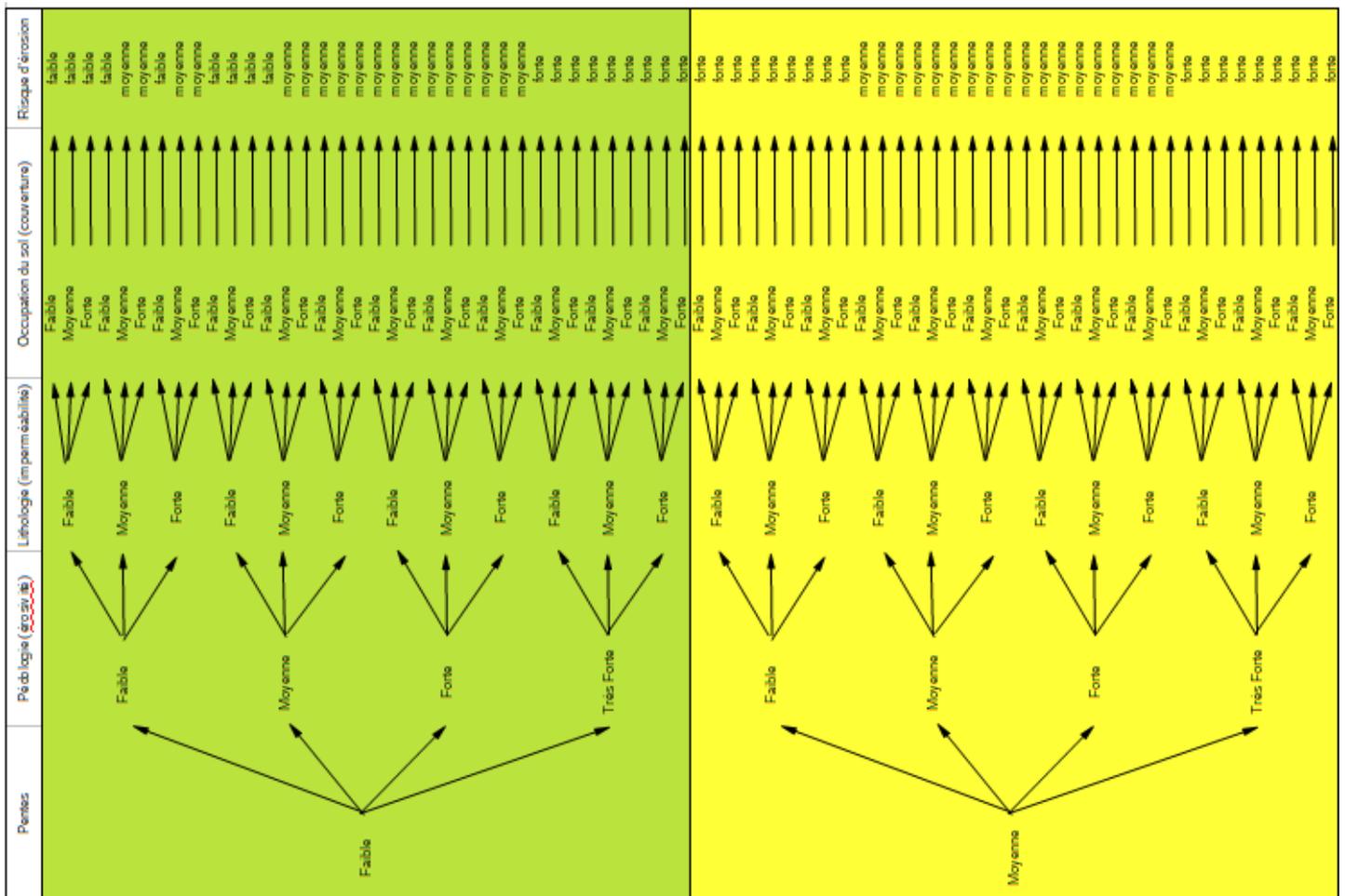
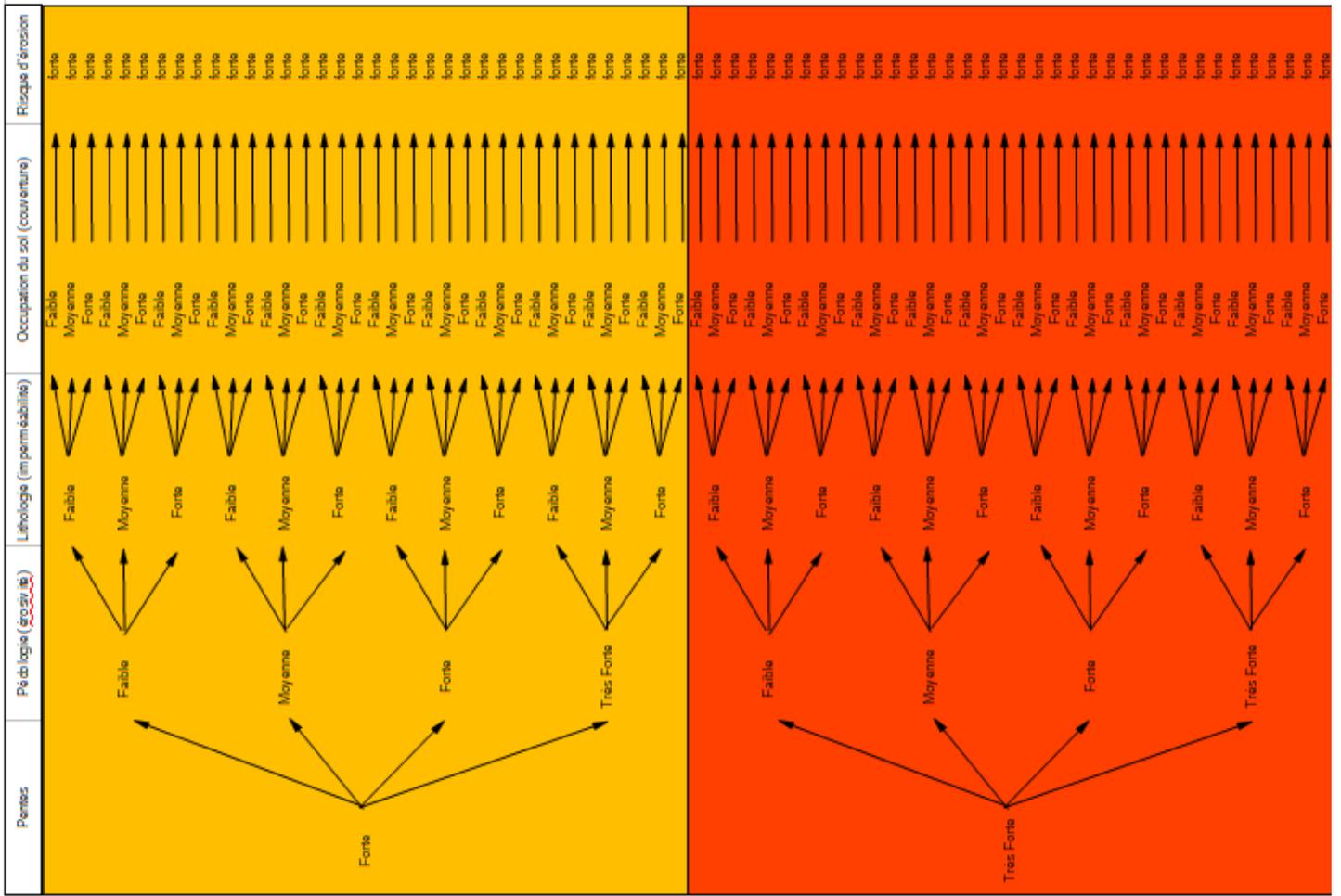
### Légende :

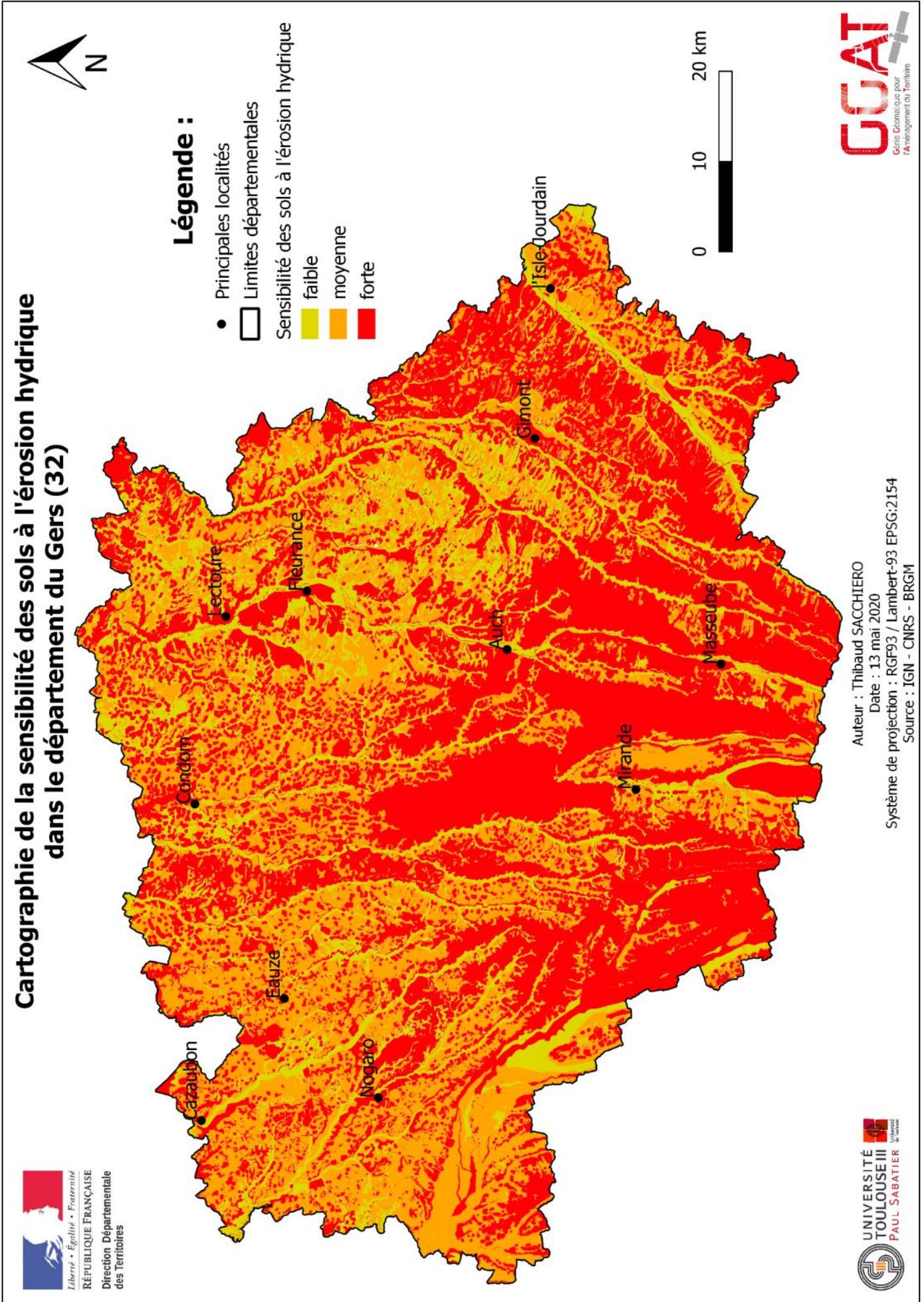
- Principales localités
- Limites départementales
- Classe d'occupation du sol
  -  Forêts
  -  Temporaire
  -  Artificielisé



0 10 20 km

## Annexe n°8 : Arbre de décision





# Annexe n°10 : Script automatisation de la mise à jour de la carte de risque à l'érosion hydrique

```

1  -- Déclaration de l'environnement
2  call 'C:\Program Files\GIS 3.4\bin\env.bat'
3  call 'C:\Program Files\GIS 3.4\bin\env.bat'
4  call 'C:\Program Files\GIS 3.4\bin\env.bat'
5  -- Déclaration des chemins
6  set BB="E:\ndvi_auto\donnees_en_entree\DEM\DEM_20000505-10885-86_L2A_T1TC_C_V0-2_FRE_B4.tif"
7  set BA="E:\ndvi_auto\donnees_en_entree\DEM\DEM_20000505-10885-86_L2A_T1TC_C_V0-2_FRE_B4.tif"
8  set MA="E:\ndvi_auto\donnees_en_entree\DEM\DEM_20000505-10885-86_L2A_T1TC_C_V0-2_FRE_B4.tif"
9  set BA="E:\ndvi_auto\donnees_en_entree\DEM\DEM_20000505-10885-86_L2A_T1TC_C_V0-2_FRE_B4.tif"
10 set BA="E:\ndvi_auto\donnees_en_entree\DEM\DEM_20000505-10885-86_L2A_T1TC_C_V0-2_FRE_B4.tif"
11 set BA="E:\ndvi_auto\donnees_en_entree\DEM\DEM_20000505-10885-86_L2A_T1TC_C_V0-2_FRE_B4.tif"
12 set BA="E:\ndvi_auto\donnees_en_entree\DEM\DEM_20000505-10885-86_L2A_T1TC_C_V0-2_FRE_B4.tif"
13 set BA="E:\ndvi_auto\donnees_en_entree\DEM\DEM_20000505-10885-86_L2A_T1TC_C_V0-2_FRE_B4.tif"
14 set BA="E:\ndvi_auto\donnees_en_entree\DEM\DEM_20000505-10885-86_L2A_T1TC_C_V0-2_FRE_B4.tif"
15 set BA="E:\ndvi_auto\donnees_en_entree\DEM\DEM_20000505-10885-86_L2A_T1TC_C_V0-2_FRE_B4.tif"
16 set BA="E:\ndvi_auto\donnees_en_entree\DEM\DEM_20000505-10885-86_L2A_T1TC_C_V0-2_FRE_B4.tif"
17 set BA="E:\ndvi_auto\donnees_en_entree\DEM\DEM_20000505-10885-86_L2A_T1TC_C_V0-2_FRE_B4.tif"
18 set BA="E:\ndvi_auto\donnees_en_entree\DEM\DEM_20000505-10885-86_L2A_T1TC_C_V0-2_FRE_B4.tif"
19 set BA="E:\ndvi_auto\donnees_en_entree\DEM\DEM_20000505-10885-86_L2A_T1TC_C_V0-2_FRE_B4.tif"
20 set BA="E:\ndvi_auto\donnees_en_entree\DEM\DEM_20000505-10885-86_L2A_T1TC_C_V0-2_FRE_B4.tif"
21 set BA="E:\ndvi_auto\donnees_en_entree\DEM\DEM_20000505-10885-86_L2A_T1TC_C_V0-2_FRE_B4.tif"
22 set BA="E:\ndvi_auto\donnees_en_entree\DEM\DEM_20000505-10885-86_L2A_T1TC_C_V0-2_FRE_B4.tif"
23 set BA="E:\ndvi_auto\donnees_en_entree\DEM\DEM_20000505-10885-86_L2A_T1TC_C_V0-2_FRE_B4.tif"
24 set BA="E:\ndvi_auto\donnees_en_entree\DEM\DEM_20000505-10885-86_L2A_T1TC_C_V0-2_FRE_B4.tif"
25 set BA="E:\ndvi_auto\donnees_en_entree\DEM\DEM_20000505-10885-86_L2A_T1TC_C_V0-2_FRE_B4.tif"
26 set BA="E:\ndvi_auto\donnees_en_entree\DEM\DEM_20000505-10885-86_L2A_T1TC_C_V0-2_FRE_B4.tif"
27 set BA="E:\ndvi_auto\donnees_en_entree\DEM\DEM_20000505-10885-86_L2A_T1TC_C_V0-2_FRE_B4.tif"
28 set BA="E:\ndvi_auto\donnees_en_entree\DEM\DEM_20000505-10885-86_L2A_T1TC_C_V0-2_FRE_B4.tif"
29 set BA="E:\ndvi_auto\donnees_en_entree\DEM\DEM_20000505-10885-86_L2A_T1TC_C_V0-2_FRE_B4.tif"
30 set BA="E:\ndvi_auto\donnees_en_entree\DEM\DEM_20000505-10885-86_L2A_T1TC_C_V0-2_FRE_B4.tif"
31 set BA="E:\ndvi_auto\donnees_en_entree\DEM\DEM_20000505-10885-86_L2A_T1TC_C_V0-2_FRE_B4.tif"
32 set BA="E:\ndvi_auto\donnees_en_entree\DEM\DEM_20000505-10885-86_L2A_T1TC_C_V0-2_FRE_B4.tif"
33 set BA="E:\ndvi_auto\donnees_en_entree\DEM\DEM_20000505-10885-86_L2A_T1TC_C_V0-2_FRE_B4.tif"
34 set BA="E:\ndvi_auto\donnees_en_entree\DEM\DEM_20000505-10885-86_L2A_T1TC_C_V0-2_FRE_B4.tif"
35 set BA="E:\ndvi_auto\donnees_en_entree\DEM\DEM_20000505-10885-86_L2A_T1TC_C_V0-2_FRE_B4.tif"
36 set BA="E:\ndvi_auto\donnees_en_entree\DEM\DEM_20000505-10885-86_L2A_T1TC_C_V0-2_FRE_B4.tif"
37 set BA="E:\ndvi_auto\donnees_en_entree\DEM\DEM_20000505-10885-86_L2A_T1TC_C_V0-2_FRE_B4.tif"
38 set BA="E:\ndvi_auto\donnees_en_entree\DEM\DEM_20000505-10885-86_L2A_T1TC_C_V0-2_FRE_B4.tif"
39 set BA="E:\ndvi_auto\donnees_en_entree\DEM\DEM_20000505-10885-86_L2A_T1TC_C_V0-2_FRE_B4.tif"
40 set BA="E:\ndvi_auto\donnees_en_entree\DEM\DEM_20000505-10885-86_L2A_T1TC_C_V0-2_FRE_B4.tif"
41 set BA="E:\ndvi_auto\donnees_en_entree\DEM\DEM_20000505-10885-86_L2A_T1TC_C_V0-2_FRE_B4.tif"

```

```

mon_sqllib - Bloc-notes
Fichier Edition Format Affichage Aide
-- préparation de la base

-- ALTER TABLE parcelle_fort ADD COLUMN id serial;
-- CREATE UNIQUE INDEX parcelle_fort_idx ON parcelle_fort(id);
-- ALTER TABLE parcelle_fort ADD COLUMN surface real;
-- update parcelle_fort set surface=st_area(wkb_geometry);

drop table if exists ndvi_parcelle cascade ;

CREATE TABLE ndvi_parcelle AS SELECT * FROM parcelle_fort;

ALTER TABLE ndvi_parcelle ADD COLUMN surface_nu real;

drop table if exists ndvi_parcelle_temp cascade ;

create TEMPORARY table ndvi_parcelle_temp as
select parcelle_fort.id,
sum(st_area(st_intersection(parcelle_fort.geom,mon_ndvi_mask.wkb_geometry))) as surfnue
from parcelle_fort,mon_ndvi_mask
where st_intersects(parcelle_fort.geom, mon_ndvi_mask.wkb_geometry)
group by parcelle_fort.id;

update ndvi_parcelle set surface_nu=(select surfnue from ndvi_parcelle_temp where id=ndvi_parcelle.id);

```

```

mon_sqllib - Bloc-notes
Fichier Edition Format Affichage Aide
DROP TABLE mon_ndvi_mask CASCADE;

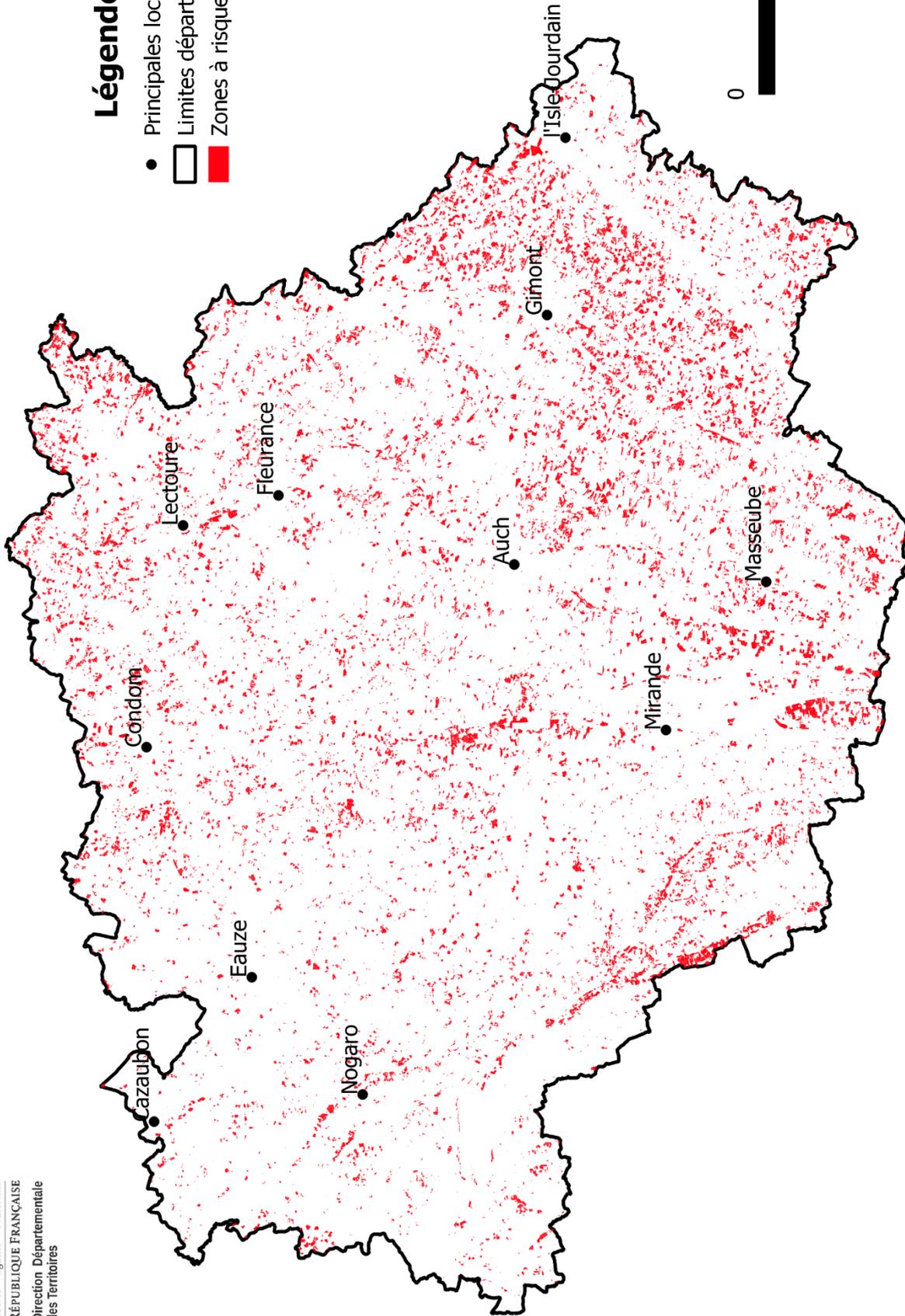
```

# Cartographie du risque d'érosion hydrique dans le département du Gers (32) au 25 mai 2020



## Légende :

- Principales localités
- Limites départementales
- Zones à risque d'érosion



Auteur : Thibaud SACCHIERO  
Date : 27 mai 2020  
Système de projection : RGF93 / Lambert-93 EPSG:2154  
Source : CNRS - BRGM - IGN - ESA

