Gestion du ruissellement autour du réseau ferroviaire tout en favorisant le développement de zones humides d'intérêt écologique

Projet RIZHU (Ruissellement Intense & Zones HUmides)

Camille FRESSIGNAC – Irstea Lyon-Villeurbanne – 02/02/15 au 31/07/2015

Encadrant IRSTEA : Pascal BREIL
Encadrants SNCF : Yannick MATILLON, Andréa NULLANS
Encadrants ISARA : Benoît SARRAZIN, Dominique VALLOD

Il faudra alors se rappeler qu'« Imaginer, c'est prévoir tous les aspects du projet : objectifs, situation topographique, alimentation en eau, lieu idéal, … »

Sommaire

Introduction 3

I- Orientation du sujet de stage 5

1. Le programme ITTECOP 5
2. Le projet RIZHU 6
3. iRIP 7

II- Les zones humides 13

1. Définition et exemples 13
2. Fonctions, services et valeurs 14
3. Grands enjeux de préservation et acteurs concernés 17
4. Critères et identification 18
5. Interdépendance des zones humides et entretien 19
6. Le cadre juridique 21
7. Les zones tampons et zones humides artificielles 23

III- Etape 1 : trouver un emplacement optimal 25

1. Récolte de données 25
2. Détermination de zones d'études particulières 28
3. Utilisation de la méthode IRIP pour retrouver des zones humides 33
4. Evaluation de la méthode par étude sur le terrain, sortie n°1 60
5. Evaluation par étude sur le terrain, sortie n°2 69
6. Méthodes de détection existantes et comparaison 73

IV- Etape 2 : design de la zone humide 75

1. Enjeux et perspectives 75
2. Exemple de zones humides artificielles 76
3. Quelques règles à respecter 77

Conclusion 79

Abréviations 80

Bibliographie 81

Annexes 84

Introduction

L'eau est un élément essentiel à la vie. Source de distraction et de bien-être (aussi bien en ce qui concerne les activités récréatives que le simple plaisir d'étancher sa soif), elle peut aussi causer de nombreux troubles dans les activités humaines (SAÏDI, 2012). Les inondations, coulées de boue, glissements de terrain, … sont par exemple des incidents directement liés à l'eau. Elément indispensable et puissant mais qui n'en reste pas moins insaisissable, cela fait plus de 10 000ans que l'Homme tente de le maîtriser.

A force d'observations et de réflexions, les scientifiques ont montré que l'eau évolue selon un cycle qui traduit des échanges entre l'atmosphère, le sol et le sous-sol grâce à divers processus. Lors du transfert atmosphère/terre par exemple, on trouve celui du ruissellement, point de départ de la problématique de ce stage.

Le ruissellement, que l'on peut observer en cas de saturation en eau de la couche supérieure du sol ou lors d'un dépassement de sa capacité d'infiltration, est conditionné selon différents paramètres. Par exemple, la topographie d'une zone va directement influencer le sens des écoulements. La nature des sols et les activités qui sont pratiquées à leur surface sont également des facteurs importants et influents à prendre en compte. Ce sont précisément ces critères que le logiciel iRIP, utilisé durant ce stage et dont la méthode sera détaillée en I-3, va prendre en compte pour calculer, non pas un débit de ruissellement comme le font déjà d'autres modèles classiques de pluie-débit, mais la potentialité d'un bassin à produire, transférer et accumuler du ruissellement (DEHOTIN, et al., 2014).

Ce phénomène considéré comme banal la plupart du temps peut donc dans certains cas se révéler être synonyme de danger. En effet, lorsque de fortes pluies ou de longs épisodes pluvieux provoquent des ruissellements importants et après convergence suivant la topographie du terrain ou les fossés de drainage le long des voies ferrées, celui-ci va venir faire gonfler les cours d'eau existants. Dans ce cas, les ouvrages hydrauliques construits en travers de ces cours d'eau et qui ne sont pas dimensionnés de façon suffisamment sécuritaire se voient submergés ou bien, devenant un obstacle à l'écoulement, peuvent être à l'origine de débordements aux conséquences dramatiques. Pour éviter de tels problèmes, les ouvrages sont souvent surdimensionnés en considérant des coefficients de sécurité importants, voire très importants. C'est le cas notamment des ouvrages de la Ligne Grande Vitesse Méditerranée (LGV Med) dont l'enjeu principal est celui de la sécurité.

Cependant, il existe des moyens de ralentir, voire de retenir cette eau de ruissellement et de façon tout à fait naturelle. En effet, les zones humides, dont nous présenterons les caractéristiques en II, ont la particularité de stocker des quantités d'eau plus ou moins grandes selon leur emprise et ainsi de limiter de trop grands apports dus au ruissellement lors de forts évènements pluvieux. La

considération de tels éléments dans la partie amont des bassins versants permettrait d'envisager une vision plus globale de la gestion du ruissellement à l'échelle du bassin versant, et non plus seulement à son exutoire ou le long des cours d'eau existants.

Cependant, certaines conditions doivent être respectées pour voir se développer de tels bassins naturels ou artificiels. En effet, la combinaison de certains critères comme la topographie, la nature des sols ou la sensibilité aux remontées de nappe entre autres est nécessaire pour voir se développer des zones humides. Ce sont précisément ces différents critères et leur recoupement que nous allons analyser dans la troisième partie de ce rapport, après avoir abordé quelques éléments de présentation du projet RIZHU.

Une fois que l'emplacement idéal croisant possibilité de création d'une zone humide et optimisation du volume d'eau de ruissellement intercepté sera obtenu, nous nous intéresserons au design de la zone de rétention que nous souhaitons créer afin qu'elle assure une diminution significative du volume d'eau de ruissellement tout en favorisant le développement de la biodiversité sur le site choisi. Cette étape sera développée dans la quatrième et dernière partie de ce rapport. Nous verrons qu'elle se base en grande partie sur des travaux de conception de zones tampons humides artificielles ou « Constructed Wetlands » réalisés en Australie (Melbourne Water, 2005).

I- Orientation du sujet de stage

Le projet RIZHU, sujet de ce stage, s'inscrit dans un programme de recherche nommé Infrastructures de Transports Terrestres, ECOsystèmes et Paysages (ITTECOP). Suite à un appel à projet mené par le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie (MEDDE), la proposition de sujet soumise par Pascal BREIL de l'Irstea Lyon-Villeurbanne, en partenariat avec la SNCF pour l'apport de données techniques et l'Isara pour l'expertise en termes de zones humides, a été retenu en tant que projet exploratoire.

1. Le programme ITTECOP

Le programme ITTECOP est un programme incitatif de recherche conduit par le MEDDE, en coordination avec l'Agence de l'Environnement et la Maîtrise de l'Energie (ADEME). Son objectif principal est de confronter les enjeux techniques des infrastructures de transports terrestres (routières, ferrées ou fluviales) et leurs interfaces aux territoires (gares, ports ou aéroports) avec les dimensions paysagères des territoires concernés (CILB - MEDD - ITTECOP - FRB, 2014).

Les principaux axes de recherches sont :

1. d'assurer une continuité théorique et empirique entre les Infrastructures Linéaires de Transport et leurs emprises (ILTe) et la biodiversité
2. de mener un examen conjoint d'infrastructures de différentes natures
3. de s'appuyer sur des expériences réelles
4. de s'interroger sur les conditions de développement de la biodiversité sur les infrastructures à long terme
5. de s'interroger sur les conditions socio-économiques de la production de la biodiversité à travers la gestion quotidienne d'une ILTe
6. de s'interroger sur les effets d'une ILTe sur la modification des paysages et sur les conditions d'existence ou d'évolution de la biodiversité rencontrée.

En tant que responsable d'un patrimoine de 30 000km de voies exploitées sur le réseau ferré de France, la SNCF se trouve directement concernée par ce programme (BERTHAUD & BAH, 2014). En effet, face au processus naturel de ruissellement diffus induit par la topographie des terrains, les voies ferrées constituent un obstacle linéaire important et infranchissable. C'est pourquoi de nombreux canaux de drainage ou fossés drainants ont été mis en place le long de ces linéaires afin de rediriger les

écoulements vers des points bas, où la mise en place d'ouvrages de rétention permet de gérer le débit transmis de l'amont vers l'aval des voies avant d'être restitué à la rivière.

Seulement, les apports sédimentaires venant encrasser les fossés, des petites retenues d'eau sont observées dans ces réceptacles et la biodiversité prend rapidement possession de ces milieux devenus propices à leur développement. Les fossés se retrouvent dans l'incapacité d'accomplir leur mission première de drainage des eaux de ruissellement. C'est à ce moment que le projet RIZHU intervient.

2. Le projet RIZHU

- **Un projet exploratoire :**

Comme énoncé plus haut, RIZHU est un projet exploratoire. Selon la demande ITTECOP, il s'agit d'aboutir sur des sujets émergents, sans antériorité, ne relevant pas forcément des actualités institutionnelles, à des analyses qui devront forcément être de nature prospective ou liées à des sujets novateurs ou très peu explorés.

En d'autres termes, il s'agit de réaliser une première approche du sujet en arrivant à poser les bonnes questions et à déterminer une démarche qui permettra d'évaluer la faisabilité du projet étudié par l'élaboration d'un arbre de décisions.

- **RIZHU :**

Plus concrètement, RIZHU est un projet mené en partenariat avec l'Irstea, la SNCF et l'Isara. Il vise en premier lieu à trouver une solution pour gérer les eaux de ruissellement dans la partie amont des voies ferrées tout en favorisant le développement de la biodiversité. L'idée employée ici est d'utiliser les fonctions et nombreuses propriétés intéressantes des zones humides pour notamment stocker les afflux importants d'eau de ruissellement avant que celles-ci ne soient interceptées par les voies de chemin de fer. En effet, comme nous l'avons énoncé plus haut, ces linéaires représentent des obstacles aux écoulements et jouent le rôle de collecteur pour les eaux de ruissellement. Ainsi, lors d'importants épisodes pluvieux, l'eau collectée dans les fossés de drainage se concentre en cours d'eau ou bien vient grossir ceux déjà présents en fond de talweg. Pour éviter tout incident, les ouvrages hydrauliques mis en place sous les voies ont donc été dimensionnés en considérant des évènements extrêmes grâce à des coefficients de sécurité très élevés. Des bassins de rétention ont également été mis en place pour gérer le débit de sortie des ouvrages de franchissement destinés au passage des eaux de ruissellement collectées. La mise en place de zones humides en amont des voies permettrait ainsi de stocker une partie de ces eaux de ruissellement avant qu'elles ne soient interceptées par les structures

linéaires et donc de diminuer non seulement les apports sédimentaires dans les fossés de drainage mais aussi de diminuer la taille des nombreux ouvrages liés à ce phénomène de ruissellement.

Ainsi, l'idée est de développer une nouvelle façon de penser la construction des voies ferrées en considérant le bassin versant dans son ensemble et en intégrant la gestion du ruissellement d'abord en amont des ouvrages avant de penser à sa gestion à l'aval.

Le projet se déroulera en trois phases :

1. Définition et connaissance des zones humides : leur potentiel, leurs fonctions et propriétés, le cadre juridique associé, les limites de leur utilisation, etc.
2. Etablissement d'un emplacement intéressant pour leur implantation (création ou remise en état) selon différents critères qui seront à définir.
3. Proposition d'un plan de conception d'un ouvrage ayant les caractéristiques d'une zone humide assurant le stockage des eaux de ruissellement souhaité.

- **Les outils employés :**

Comme nous allons le voir en II, une zone humide nécessite le croisement de plusieurs critères pour exister. D'autres critères viendront aussi s'ajouter pour assurer la pérennité de la biodiversité. D'autres encore, comme l'indice topographique ou les aires de drainage, seront analysés pour chercher à optimiser la quantité d'eau de ruissellement interceptée. Pour obtenir ces derniers, le logiciel iRIP (cf. I-3) ainsi que les logiciels de SIG QGIS, GrassGIS et ArcGIS pour la partie des post-traitements seront employés ici.

3. iRIP

iRIP est un logiciel qui a été développé en 2012 par la SNCF et basé sur la méthode IRIP (Indicateur du Ruissellement Intense Pluvial), développée par le laboratoire de l'Irstea Lyon-Villeurbanne en 2010. Celle dernière permet de dresser un diagnostic de l'aléa des inondations par ruissellement intense. En effet, des pluies soutenues mais non intenses peuvent provoquer des ruissellements intenses selon la disposition et les caractéristiques du terrain (PATRICE, 2015). Et c'est cette sensibilité des sols à ruisseler qui est détectée ici.

La méthode IRIP permet de mener une analyse amont-aval de la dynamique des écoulements de surface à partir de données topographiques, pédologiques, en fonction de l'occupation du sol et des réseaux de structures linéaires (routes, voies ferrées, cours d'eau). Les résultats de la méthode sont

rendus sous forme de trois cartes donnant les potentialités de production, de transfert et d'accumulation du ruissellement. On note que plusieurs enchaînements sont possibles entre la production et la restitution au milieu avant les zones d'accumulation (cf. figure 1). Le logiciel iRIP permet ainsi de détecter des zones, à moyenne résolution, où le ruissellement est le plus probable (DEHOTIN & BREIL, Projet IRIP : Rapport technique, Cartographie de l'aléa ruissellement, Note méthodologique, 2011).

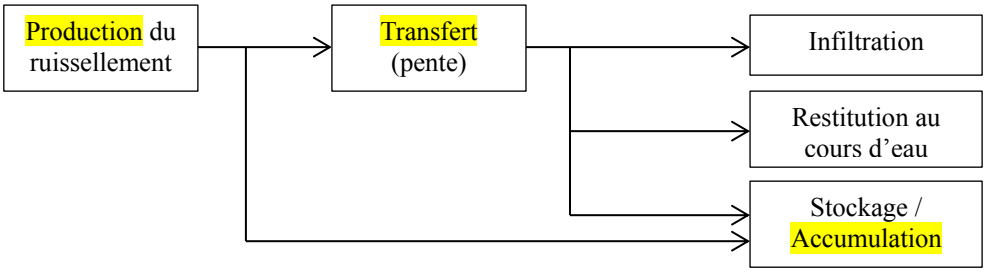


Figure 1

Le ruissellement, qu'il soit né d'un dépassement de la capacité d'infiltration, c'est-à-dire que l'intensité des pluies est supérieure à la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol ou par saturation de la surface du sol, est influencé par différents facteurs qui sont :

- <u>La pente :</u>

Une pente forte va favoriser la production et le transfert de ruissellement alors qu'une pente faible sera favorable à son accumulation. Il en va de même pour les ruptures de pente, i.e. le passage d'une pente faible à forte va favoriser la production et le transfert alors qu'un passage de pente forte à faible va quant à lui plutôt favoriser l'accumulation.

- <u>La forme des aires drainées :</u>

Elle se base sur l'indice de compacité de Gravelius :

$$K_G = \frac{P_{BV}}{P_{disc}}$$

où * P_{BV} est le périmètre du bassin versant

* P_{disc} est le périmètre d'un cercle de même aire que le bassin versant

Remarque : Cet indice est actuellement pris en compte dans la version standard du logiciel mais semble poser quelques problèmes de calcul dans certains cas en apportant du bruit dans les résultats ou en ralentissant le calcul des indicateurs. Pour ce stage, la version mise à ma disposition étant la version standard, l'indice de compacité sera bien calculé et pris en compte.

➢ <u>L'indice topographique i ou indice de Beven Kirkby 1979 :</u>

Il s'agit de comparer, pour un pixel donné, les variations du rapport entre l'aire contributive à ce pixel dans le bassin versant et l'angle local de la pente (SARRAZIN, 2012) :

$$i = \ln\left(\frac{a}{T\tan(\beta)}\right)$$

où * a est la surface spécifique, c'est à dire le rapport entre l'aire contributive et la longueur du pixel considéré.

* T est la transmitivité du sol (souvent non utilisée car présentant des variations faibles comparées à a et β)

* β est la pente locale du pixel considéré

Remarque : L'indice topographique fera partie des critères les plus importants pour la détection des sites favorables au développement de zones humides.

➢ <u>L'occupation des sols :</u>

Les zones urbaines et agricoles favorisent le ruissellement alors que les zones forestières, au couvert végétal important limiteront le phénomène.

➢ <u>Type de sol et géologie :</u>

L'épaisseur du sol conditionne la capacité de stockage avant saturation.

La perméabilité du sol influence la capacité d'infiltration du sol dans le cas du ruissellement hortonien (par dépassement de la capacité d'infiltration).

L'érodibilité du sol peut favoriser le ruissellement et les coulées de boue.

Remarque : Certaines propriétés de sol ne sont pas prises en compte dans la méthode IRIP. Par exemple, le phénomène de battance sur des sols riches en limon qui mène à la formation d'une couche imperméable et l'humidité initiale du sol ne sont pas relevés. En revanche, il sera possible d'envisager d'appliquer deux fois la méthode avec des propriétés de sol différentes (avant formation de la croute de battance et après).

La méthode IRIP a été développée pour fonctionner selon le schéma donné en figure 2.

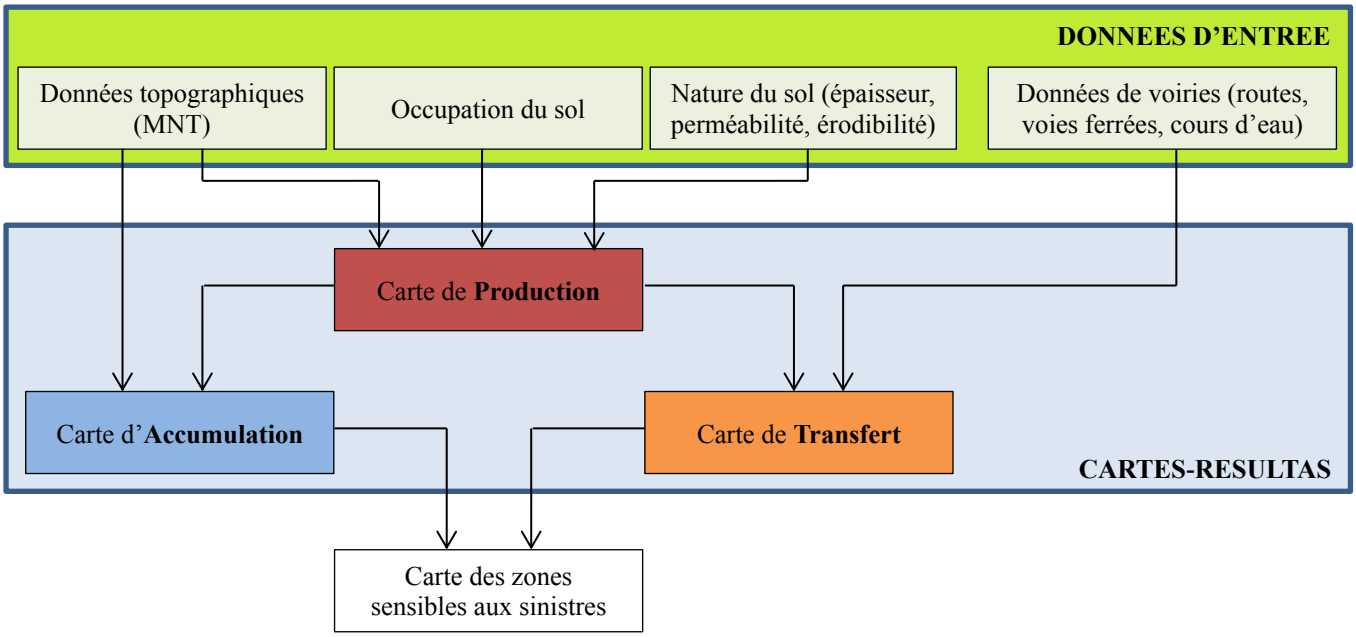


Figure 2 : Modèle de fonctionnement de la méthode IRIP

Les cartes-résultats de potentiel de production, de transfert et d'accumulation du ruissellement produites par iRIP sont élaborées à partir d'une méthode de score. Elles sont le fruit de sommes de **cinq** cartes-indicateurs qui leur sont respectivement associées. Pour chaque indicateur issu directement ou après calculs des données d'entrées, selon s'il est jugé favorable ou non à la production, au transfert et/ou à l'accumulation du ruissellement, on associe une carte binaire constituée de 0 et de 1 (0 si le facteur est défavorable, 1 s'il est favorable au ruissellement). Finalement, les cartes-résultats auront la possibilité, en chaque pixel étudié, de contenir une valeur comprise entre 0 et 5.

Valeur du pixel	Signification en termes de potentialité de ruissellement
0	relativement insignifiant
1	très faible
2	faible
3	moyenne
4	forte
5	très forte

Tableau 1 : Signification des valeurs de potentialité au ruissellement données dans les cartes résultats

Remarque : Pour chaque carte-résultat, on peut choisir le poids à donner à chacun des indicateurs. Dans un premier temps, on gardera une pondération par défaut de 1 pour chaque indicateur, c'est-à-

dire que chacun aura la même influence sur les potentiels de ruissellement du sol. On gardera tout de même à l'esprit que certains facteurs, voire certaines combinaisons de facteurs sont plus favorables que d'autres à la production, au transfert ou à l'accumulation du ruissellement.

Comme il est énoncé plus haut, chaque carte-résultat est calculée à partir de cinq indicateurs qui lui sont propres. Ainsi :

- la carte de potentiel de production de ruissellement sera calculée à partir des indicateurs (1) d'érodibilité, (2) d'épaisseur et (3) de perméabilité du sol, (4) de la pente locale et indice d'engorgement et enfin (5) de l'occupation des sols.
- la carte de potentiel de transfert du ruissellement sera calculée à partir des indicateurs (1) de pente, (2) de rupture de pente (rapport entre la valeur modale de la pente de l'aire drainée et de la pente locale), (3) de la forme des aires drainées (indice de compacité de Gravelius), (4) de voiries et réseaux hydrographiques comme axes favorisant le transfert et finalement (5) de la carte de potentiel de production du ruissellement tout juste produite.
- la carte de potentiel d'accumulation du ruissellement sera calculée à partir des indicateurs (1) de pente (les pentes faibles sont favorables), (2) de rupture de pente (passage d'une pente forte à faible est également favorable à l'accumulation), (3) de la forme des aires drainées (indice de compacité de Gravelius), (4) de l'indice topographique et enfin (5) de la carte de potentiel de production du ruissellement.

Il est possible d'améliorer les résultats en itérant les calculs avec l'apport de nouvelles données comme une plus grande précision sur la localisation des zones urbanisées, les affleurements rocheux, l'épaisseur critique des sols et des bases de données agricoles (si disponibles).

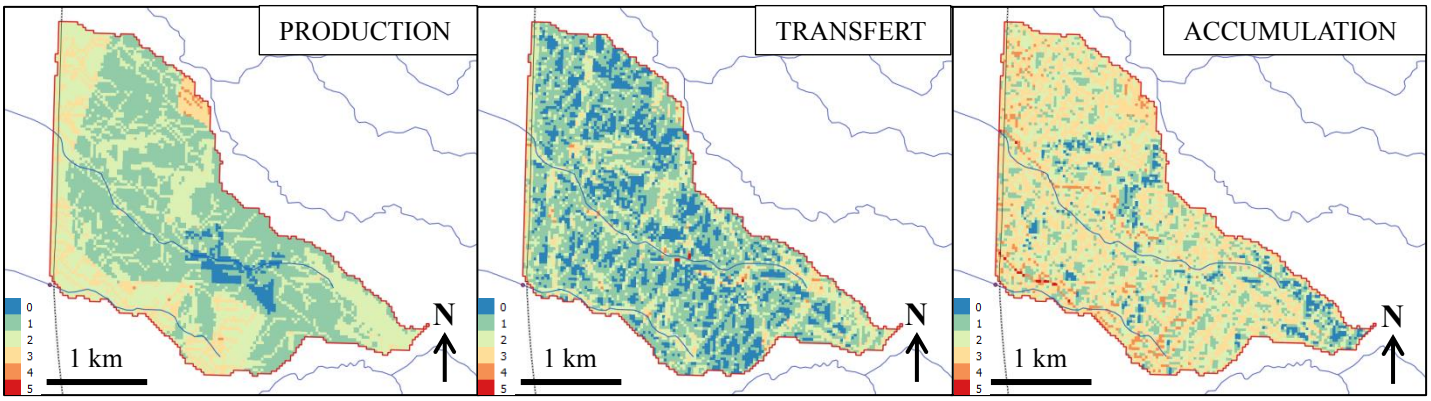


Figure 3 : Cartes-résultats donnant le potentiel de production, de transfert et d'accumulation du ruissellement pour un bassin donné

Dans le cadre de cette étude, l'objectif est de trouver une méthode pour pouvoir identifier sur un secteur donné les emplacements optimaux pour intercepter le plus d'eau de ruissellement tout en respectant les conditions d'existence des zones humides.

II- Les zones humides

1. Définition et exemples

Le portail Eau France annonce que « les définitions des zones humides sont aussi nombreuses que leurs rédacteurs, qu'ils soient scientifiques, gestionnaires, juristes ou politiques. » Dans le cadre de ce stage, je me réfèrerai à celle donnée par le Code de l'Environnement qui définit les zones humides comme des «terrains, exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire ; la végétation, quand elle existe, y est dominée par des plantes hygrophiles[1] pendant au moins une partie de l'année » (Art. L. 211-1).

Il s'agit d'une définition assez large qui englobe une dizaine de types de zones humides (Agences de l'Eau) :

- ZH1 : vasières et prés salés, vases…
- ZH2 : lagunes et marais saumâtres
- ZH3 : lits mineurs
- ZH4 : forêts alluviales et ripisylves
- ZH5 : marais fluviaux, prairies humides
- ZH6 : annexes fluviales
- ZH7 : zones humides d'altitude
- ZH8 : zones humides de plaines : marais, …
- ZH9 : étangs, mares, bordures de lac
- ZH10 : plans d'eau artificiels

Figure 4 : Quelques exemples de zones humides

Ces zones humides peuvent être également réparties en trois groupes selon leur origine naturelle ou anthropique (CORDANI, 2013) :

- *zones humides marines ou côtières :* lagunes, récifs coralliens, estuaires, etc.
- *zones humides continentales :* lacs, marais, tourbières, etc.

[1] Plante hygrophile : plante croissant principalement dans les milieux humides

- *zones humides artificielles :* étangs d'aquaculture, étangs agricoles, terres agricoles irriguées, exploitations du sel, retenues d'eau, gravières, sites de traitement des eaux usées, oasis, etc.

Dans cette étude nous nous concentrerons sur ces deux derniers groupes.

2. Fonctions, services et valeurs

Les zones humides présentent quatre groupes de fonctions majeures (GAILLARD, et al., 2002) :

1) Une fonction hydrologique en tant que zone d'expansion des crues et par son aptitude à pouvoir recharger ou décharger une nappe proche. On parle alors d'un rôle d' « éponge naturelle ».
2) Une fonction d'épuration grâce à une rétention des sédiments et l'élimination d'une partie des nutriments. Les zones humides vont jouer un rôle de « filtre naturel ».
3) Une fonction d'habitat par sa productivité primaire, par la présence de poissons, de faune sauvage et de ressources agricoles.
4) Enfin, des fonctions secondaires comme la récréation, l'éducation ou encore des aspects culturels.

Elles offrent ainsi des services très utiles à l'Homme. Le premier est le service d'approvisionnement qu'elles assurent aussi bien pour l'AEP, les végétaux, les pâturages, le fourrage, les cultures, les sylvicultures, les tourbes, etc. Egalement en lien direct avec leur fonction hydrologique, les zones humides peuvent servir d'écrêteur de crue, de système d'épuration de l'eau et peuvent aussi dans certain cas servir au soutien lors des périodes d'étiage. Enfin, elles servent également de soutien au fonctionnement des cycles de l'eau, du carbone et des éléments nutritifs.

On peut classer les différents types de zones humides selon leurs fonctions comme le montre le tableau 2 suivant :

Types de zones humides potentiellement intéressantes dans notre étude

ZH1	ZH2	ZH3	ZH4	ZH5	ZH6	ZH7	ZH8	ZH9	ZH10	Fonction
M	M	F	F	F	F	A	M	M	M	Expansion des crues
A	A	F	F	F	F	A	A	A	M	Régulation des débits d'étiage
A	A	M	M	M	M	A	A	A	A	Recharge des nappes
A	A	F	F	A	F	A	A	A	A	Recharge du débit solide des cours d'eau
M	M	F	F	F	F	M	M	M	M	Régulation des nutriments
M	M	F	F	F	F	A	M	M	M	Rétention des toxiques (micropolluants)
F	F	M	F	F	F	M	M	F	M	Interception des matières en suspension
F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	Patrimoine naturel

Intensité des potentialités : F - *fort ;* M - *moyen ;* A - *aucun*

Tableau 2 : Intérêt des différents types de zones humides selon les fonctions proposées, (Agences de l'Eau)

Concernant la fonction de régulation des crues, plusieurs paramètres de caractérisation rentrent en compte :

- la largeur de la plaine d'inondation,
- la pente de la plaine d'inondation,
- la densité des chenaux et des annexes hydrauliques,
- la macrotopologie de la plaine d'inondation,
- la connexion lit mineur/plaine d'inondation (digue),
- la fréquence des débordements,
- la connexion à un aquifère profond,
- le temps de transfert,
- le type de végétation qui se développe à sa surface,
- les obstacles construits.

En assignant à chacun de ces critères un coefficient de pondération, on peut en déduire un indice de fonction de régulation de crue propre à chaque site étudié.

Une étude économique a également été menée pour connaître la valeur des zones humides (KATOSSKY & MARICAL, 2011). Il en résulte alors une classification de cinq catégories de valeurs :

1. une valeur d'usage direct : c'est la valeur d'un service utilisé pour lui-même (production agricole ou piscicole, chemin de randonnées, …)
2. une valeur d'usage indirect : c'est un service qui entre en compte dans la production d'un bien ou d'un service consommé par l'Homme (régulation des inondations, absorption de carbone, …)
3. une valeur d'option : cette classe de valeur se situe à la limite des valeurs d'usage et de non-usage et renvoie aux services environnementaux non encore utilisés mais qui pourraient l'être dans l'avenir
4. une valeur de legs : c'est la valeur accordée au fait de laisser un environnement préservé aux générations futures
5. une valeur d'existence : c'est la valeur accordée intrinsèquement à l'existence d'un bien ou d'un service environnemental indépendamment de son usage, comme par exemple pour une espèce endémique mais en dehors de sa valorisation économique effective ou potentielle.

Enfin, pour illustrer l'étude qui sera menée durant ce stage sur le possible établissement de zones de rétention d'eau propices au développement de la biodiversité en amont des voies, voici un exemple donné par le Conservatoire d'Espaces Naturels de Rhône Alpes (CREN) dans la Préservation des zones humides : atout et enjeu de l'aménagement des territoires sur la fonction hydrologique de ces zones :

« A Prévessin-Moën (Ain), la construction d'un bassin de rétention a coûté 757 000€ HT au SIVOM de l'Est Gessin. Cette dépense aurait pu être évitée si la zone humide, qui se trouvait à proximité, n'avait pas été détruite il y a 60ans. Cette zone humide jouait en effet ce rôle de bassin de rétention, naturellement et gratuitement ».

Figure 5 : photo d'une zone humide

3. Grands enjeux de préservation et acteurs concernés

Il est à noter cependant que les zones humides sont des milieux fragiles et extrêmement dépendants des conditions environnantes. Elles sont très sensibles aux changements liés à l'utilisation de l'eau et à l'occupation des sols qui peuvent influencer directement les apports de pollution. L'urbanisation, l'intensification de l'agriculture, l'aménagement des cours d'eau et les prélèvements d'eau sont des facteurs directs de menace pour ces zones.

Un rapport mené par des chercheurs du CNRS en 2012 a montré que la France aurait perdu 67% de ses zones humides entre 1900 et 1993. Avec une surface d'environ 3 millions d'hectares, les zones humides recensées aujourd'hui couvrent 2,5% du territoire et abritent à elles seules un quart de la biodiversité française. Seulement, malgré des plans de sauvegarde et une règlementation de plus en plus stricte, les zones humides continuent d'être dégradées.

Les points mentionnés plus haut font ressortir l'importance de ces zones et les enjeux qu'elles peuvent présenter sur les projets futurs. De nombreux acteurs travaillent aujourd'hui à leur préservation. Ils pourront se révéler être d'une aide précieuse pour apprendre à développer correctement une future zone humide. D'autre part, ils nous offrent une liste intéressante de contacts en cas de questionnement.

A qui s'adresser ? Quelques noms à retenir pour la région Rhône-Alpes :

- les collectivités locales pour établir un partenariat et un indispensable échange avec les acteurs du territoire
- l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse
- l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA)
- l'Observatoire National sur les Zones Humides (ONZH)
- la FRAPNA, contact dans le Réseau Départemental Eau (RDEAU) – l'Eau et les Zones Humides : Yoann Vincent (yoann.vincent@frapna.org) : association de défense de l'environnement
- le Conservatoire d'Espace Naturels Rhône Alpes (CREN, ou CEN)
- Association Française des Etablissements Publics Territoriaux de Bassin

- l'initiative MedWet : initiative régionale fonctionnant sous l'égide de la Convention RAMSAR[2] sur les zones humides
- La Tour du Valat : centre de recherche pour la préservation des zones humides méditerranéennes

Enfin, le SDAGE de Rhône Méditerranée et Zones Humides propose dans l'orientation 6A-11 un encadrement pour la création de petits plans d'eau.

Cette liste n'est pas exhaustive mais elle montre bien l'implication de nombreux acteurs dans la préservation et la gestion des zones humides.

4. Critères et identification

Par définition, les zones humides sont marquées par la forte présence de l'eau. Il peut s'agir d'une nappe d'eau présente à la surface du sol ou d'une nappe souterraine baignant le sol à quelques dizaines de centimètres de profondeur durant une bonne partie de l'année.

Les deux critères à considérer pour reconnaitre une zone humide sont la nature du sol d'une part et la présence de plantes spécifiques recouvrant la zone d'autre part.

Les sols en contact avec l'eau pendant au moins une partie de l'année vont présenter des caractéristiques hydrophiles particulières. On peut retenir comme principaux types de sols de zones humides les rédoxisols[3], les réductisols[4] et les histosols[5]. Même après assèchement d'une zone, les

[2] La convention RAMSAR est un accord intergouvernemental adopté dans la ville de Ramsar en Iran, en 1971 pour s'occuper des zones humides, (MEDDE, Ramsar et la gestion des zones humides en France, 2014).
[3] « Les traits rédoxiques résultent d'engorgements temporaires par l'eau […] ». Ils se distinguent par la présence de taches brunes ou noires, signe d'une accumulation de rouille. (MEDDE, SCHNEBELEN, & LAROCHE, Guide d'identification et de délimitation des sols des zones humides, 2013)
[4] « Les horizons réductiques résultent d'engorgements permanents ou quasi permanents par l'eau […]. L'aspect typique de ces horizons est marqué par 95 à 100% du volume qui présente une coloration uniforme verdâtre/bleuâtre. » (MEDDE, SCHNEBELEN, & LAROCHE, Guide d'identification et de délimitation des sols des zones humides, 2013)
[5] « Les horizons histiques sont des horizons entièrement constitués de matières organiques et formés en milieu saturé par la présence d'eau durant des périodes prolongées (plus de six mois dans l'année). [Ils] sont composés principalement à base de débris de végétaux hygrophiles ou subaquatiques. » (MEDDE, SCHNEBELEN, & LAROCHE, Guide d'identification et de délimitation des sols des zones humides, 2013)

caractéristiques du sol resteront comme marqueurs de la présence, bien qu'ancienne, de l'eau dans le secteur. C'est pourquoi, il est possible de retrouver des terrains d'anciennes zones humides. Une fois les drains retirés, le sol n'ayant pas changé et si les conditions d'approvisionnement amont en eau sont également restées inchangées, la zone devrait naturellement se redévelopper en zone humide.

Pour une caractérisation par les plantes, une liste de près de soixante quinze espèces spécifiques a été dressée et officialisée. Pour pouvoir être déclarée comme zone humide, plus de la moitié des espèces végétales présentes sur la surface étudiée doivent faire partie de cette liste. Notons que les surfaces en eau dépourvues de végétation (zones profondes des lacs et des rivières) ne sont pas des « zones humides » au sens de la réglementation française, alors qu'il s'agit naturellement de « milieux humides » du point de vue international.

Dans certains cas, la végétation est absente de la zone étudiée. Alors, c'est le critère pédologique qui déterminera s'il s'agit ou non d'une zone humide. En effet, la présence ne serait-ce que d'un seul de ces deux critères suffit à classer la zone étudiée en zone humide.

Remarque : L'époque la plus favorable au diagnostic est la période durant laquelle les sols sont humides pour être en mesure d'identifier les manifestations de l'hydromorphie et de la concentration du ruissellement (fin de l'automne pour les cultures d'hiver, début du printemps – traitements herbicides – pour les cultures de printemps).

5. Interdépendance des zones humides et entretien

Les milieux humides sont interdépendants à l'échelle d'un bassin versant. Toute intervention humaine sur un maillon de la chaîne induit une perturbation sur l'ensemble du système. Alors la mise en place d'actions de conservation et de gestion des milieux humides doit prendre en compte la totalité des milieux humides du bassin versant (Groupe d'experts "Zones Hunides", 2014).

D'autre part, la création d'une zone humide ne peut pas se faire de manière isolée si l'on souhaite développer un écosystème pérenne. En effet, les espèces ont besoin de pouvoir migrer en cas notamment de dérèglement de leur milieu. Il sera donc important de prendre en compte l'emplacement de zones humides existantes lors de la recherche d'un espace pouvant potentiellement accueillir une nouvelle zone humide afin de préserver, voire de développer le maillage existant. Une distance de séparation d'au maximum 500m entre les zones humides peut être considérée comme convenable.

Pour assurer cette continuité de manière règlementaire, un dispositif a été récemment mis en place : la trame verte et bleue. Il s'agit d'un outil d'aménagement du territoire qui vise à (re)constituer un réseau écologique cohérent, à l'échelle du territoire national, pour permettre aux espèces animales

et végétales, de circuler, de s'alimenter, de se reproduire, de se reposer, etc. Elle a pour « objectif d'enrayer la perte de biodiversité en participant à la préservation, à la gestion et à la remise en bon état des milieux nécessaires aux continuités écologiques, tout en prenant en compte les activités humaines, et notamment agricoles, en milieu rural », (L 371-1 du Code de l'Environnement).

Extraits du <u>Manifeste du Tiers Paysage</u> de Gilles CLEMENT :

« Entre ces fragments de paysage aucune similitude de forme. Un seul point commun : tous constituent un territoire de refuge à la diversité. Partout ailleurs celle-ci est chassée. […] »

Gilles Clément continue en avertissant que la fermeture du maillage créé par le tissu urbain et les axes de communications (routes, voies ferrées) diminue les chances de continuité biologiques, de même que la diversité. Pour lui, l'urgence d'un système biologique n'est pas d'obtenir un résultat mais d'organiser pour lui des chances d'existence.

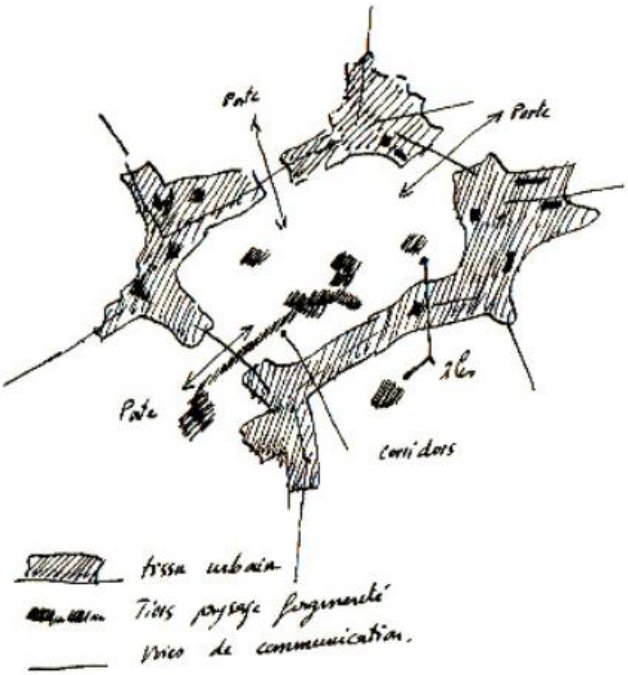


Figure 6 : Représentation du maillage urbain et des « portes » de communication entre « zones délaissées » aussi appelées « Tiers paysage », (CLEMENT, 2004)

Il prône la considération du non-aménagement comme un principe vital par lequel tout aménagement se voit traversé des éclairs de la vie et préconise finalement l'instruction de l'esprit du non-faire comme on instruit celui de faire. En effet, plusieurs retours d'expérience sur des remises en état ou de créations de zones humides montrent que, d'elle-même, la biodiversité se redéveloppe et reconquiert les nouveaux territoires qui lui sont favorables.

Cependant, le devenir d'une zone humide étant naturellement de s'atterrir, la préservation de ces milieux nécessite un entretien régulier. C'est pourquoi, l'établissement de plans de gestion, c'est-à-dire fixer les objectifs à atteindre et les travaux à mettre en œuvre sur environ 5ans, est fortement encouragé (OERTLI, et al., 2013).

Dans le cas des mares (mais également applicable pour d'autres types de zones humides), certaines précautions doivent être prises (ARNABOLDI & ALBAN, 2006). Par exemple, on peut citer les règles suivantes :

- **éviter l'envasement par le curage.** L'envasement résulte de l'accumulation de matière organique en décomposition (plantes ou parties de plantes mortes tombées dans l'eau). Le curage, utilisé pour pallier ce problème, peut être réalisé à l'aide d'une pelle mécanique ou d'une baguernette (panier en osier). Il est recommandé d'échelonner cette opération sur plusieurs années pour limiter l'impact sur la biodiversité. L'atterrissement de la zone étant un processus lent, il n'est cependant pas nécessaire de la réaliser dans les premières années suivant la création de la mare.
- **empêcher l'envahissement par la végétation aquatique.** On demande de retirer chaque année une partie (la moitié est conseillée) de la végétation aquatique comme les lentilles d'eau. Puis, on laissera les végétaux enlevés un à deux jours sur les bords de la mare avant de les exporter pour laisser aux espèces abritées le temps de rejoindre l'eau.
- **gérer les plantes des rives.** Faucher les hélophytes[6] envahissantes juste au-dessus du niveau de l'eau. On parle de faucardage. Cette opération est à réaliser environ tous les deux ans selon l'évolution de la végétation présente sur le site.

6. Le cadre juridique

Comme nous l'avons dit précédemment, les zones humides sont de nos jours extrêmement surveillées aussi bien par les associations de protection de l'environnement qui se multiplient que par la règlementation qui se fait de plus en plus dure et stricte (AFNOR, 2012).

- **Eviter, Réduire, Compenser :**

Dans la mesure du possible, de nos jours tout projet doit avoir un impact positif pour la biodiversité. Pour cela les législations européennes et françaises imposent aux aménageurs du territoire, en tant que maîtres d'ouvrage, d'abord d'éviter les effets négatifs sur la biodiversité, ensuite

[6] Plante hélophyte : plante située en bordure, sur les hauts fonds en pente douce des plans d'eau. Elle peut supporter les inondations comme l'assèchement de la mare.

de réduire les impacts non évités et, en ultime recours, de compenser les impacts résiduels (Forum des Zones Humides, 2013). Deux types de compensation sont possibles : une compensation fonctionnelle reposant sur l'équivalence des fonctionnalités des zones humides détruites ou une compensation surfacique impliquant d'agir sur le double de la surface impactée.

Remarque : Dans certains cas, le ratio de surface à compenser par rapport à la surface endommagée peut atteindre des valeurs importantes pour dissuader les constructeurs (exemple : r = 40). Mais cela reste des cas particuliers.

Les compensations peuvent se faire soit en recréant des zones humides, soit en restaurant d'anciennes zones dégradées. Mais la compensation devient une solution de plus en plus dure à envisager lorsqu'il n'y a pas eu de justification suffisante prouvant que les étapes d'évitement et de réduction sont réellement impossibles à envisager.

Remarque : Attention, une réhabilitation consiste à remettre en état une partie des fonctions et services à des niveaux satisfaisants alors qu'une restauration, au sens strict, consiste à remettre en fonctionnement d'autorégulation un écosystème à l'optimum de ses fonctions, dans le respect de sa trajectoire d'évolution, sans gestion ultérieure.

En outre, la mise en place d'ouvrages poussant une ou plusieurs fonctions des zones humides au-delà du fonctionnement naturel, nécessite une bonne connaissance des milieux présents, l'accompagnement et le suivi de l'évolution de ces milieux. Pour bien se faire, la condition première à la réussite d'actions menées sur un territoire, quel qu'il soit, est la cohérence entre les acteurs locaux, entre les documents de planification et au sein du territoire.

Le Forum des marais atlantiques a, pour sa part, procédé en 2013 à une analyse de diverses actions menées en France et cite notamment, comme expériences positives, la création de mares de substitution réalisées dans le cadre de travaux de la reconstruction de la ligne TGV Méd (Forum des Marais Atlantiques, 2013). En effet, travailler à l'échelle d'un bassin versant ou d'une prairie en restaurant la connectivité entre les mares ne peut être que bénéfique à la biodiversité en assurant la présence de zones refuges et d'habitats aux caractéristiques complémentaires. Des retours d'expériences montrent de plus que le taux de réussite des plans de compensation est plus élevé dans le cas de la restauration plutôt que de la création d'une mare.

- **Le Code de l'Environnement :**

Le Code de l'Environnement expose aussi quelques lois et règles concernant les zones humides, leur construction ou leur entretien. Celles-ci sont énoncées en annexe 1.

7. Les zones tampons et zones humides artificielles

Le Comité d'ORientation pour les Pratiques agricoles respectueuses de l'ENvironnement (CORPEN) nous présente les zones tampons comme des espaces interstitiels capables d'intercepter les flux d'eau et de substances pour protéger les milieux aquatiques. Ces espaces, surfaces ou linéaires, peuvent être herbacés et/ou boisés : bordures de champs étroites, bandes enherbées, chenaux enherbés de talweg, prairies permanentes, friches, chemins enherbés, talus, haies, bois et bosquets, ripisylves, etc. Grâce à leur rugosité et à leur perméabilité, elles ralentissent le ruissellement, diminuent le volume et réduisent les pics de débit. On parle d'atténuation hydrique (CAESSTEKER, 2015).

Il existe différents emplacements possibles qui peuvent accueillir des zones tampons :

- bande intra parcellaire
- coin aval d'une parcelle
- zone tampon à l'aval d'une parcelle et en bordure d'un chemin
- chenal enherbé de talweg
- zone tampon à l'aval d'une parcelle
- prairie en travers du talweg
- zone tampon en bordure de cours d'eau

En ce qui concerne les transferts hydriques et d'un point de vue strictement technique, la localisation en bordure de cours d'eau n'est pas a priori la plus appropriée. En effet, à ce niveau, le degré de concentration des écoulements est maximal, de même que le risque de présence d'hydromorphie et le ruissellement infiltré y rejoint rapidement le cours d'eau. Dans cette même logique, on comprend alors qu'il est préférable de placer la zone tampon dans des bassins versants associés à des cours d'eau d'ordre 1, voire 2 au maximum (c'est-à-dire plutôt dans les parties amont des écoulements).

Le dimensionnement réalisé lors de la mise en place de zones tampons est directement lié à l'utilisation que l'on veut en faire. Par exemple, pour limiter les apports en matière en suspension dans la rivière, une largeur de cinq à vingt mètres peut être envisagée entre le champ et le cours d'eau. Pour ce qui est de limiter les écoulements de ruissellement, la largeur de la zone devra être comprise entre dix et vingt mètres. Enfin, pour préserver la qualité biologique du cours d'eau à l'aval, une largeur de dix mètres est conseillée.

Une zone tampon peut également servir à disperser des écoulements. Sans les intercepter, la mise en place de barrages en rondins ou de fascines[7] permet de corriger le ravinement jouant un rôle aussi antiérosif.

Il existe cependant différents types de zones tampons :

- les zones tampons composites formées de zones enherbées en amont pour maximiser l'infiltration et pour limiter le ravinement de la zone boisée en aval. L'efficacité d'une zone tampon « sèche » est principalement due à sa capacité d'infiltration. D'autre part, les zones tampons rivulaires ont un rôle important en tant que protection rapprochée contre les écoulements des parcelles riveraines et comme corridor biologique. Elles limitent aussi les effets du transport aérien de pollution (pulvérisation).
- les zones tampons humides : quand ces zones sont créées spécifiquement on parle de zones humides artificielles ou « constructed wetlands ». Dans le cas d'un drainage enterré on constate une réduction considérablement du ruissellement dans les parcelles concernées. Dans ce cas, ce seront plus spécifiquement les zones tampons humides qu'il conviendra de mettre en place.

Remarque : La présence de zones tampons sèches aux abords et en amont des zones humides artificielles est favorable à l'atténuation de la pollution des eaux superficielles par les pesticides. Cependant un débat est actuellement en cours concernant l'apport en eau nécessaire pour le bon développement des zones humides qui se trouve quelques fois diminué, voire supprimé par le rôle infiltrant de ces zones tampons sèches.

Finalement, sous réserve d'une gestion sécurisée du volume alloué au stockage des flux de crue, ces structures peuvent être aménagées afin d'offrir une seconde fonctionnalité biologique qui mime les fonctions des zones humides naturelles afin de permettre l'amélioration de la qualité de l'eau ; à savoir traiter et contenir les agents polluants présents dans les écoulements superficiels, et réduire les charges en produits phytosanitaires des eaux de surfaces s'écoulant vers l'aval. On estime donc que les bassins d'orage initialement conçus pour la protection contre les inondations peuvent être aménagés afin d'optimiser l'assainissement des eaux pluviales par le biais de divers mécanismes : décomposition microbienne des agents polluants, absorption végétale, rétention, décantation et adsorption.

[7] Fascine : Fagot de branches

III- Etape 1 : trouver un emplacement optimal

A présent que nous avons une visions un peu plus précise de ce que sont les zones humides, les possibilités qu'elles offrent et aussi leurs contraintes, nous allons chercher à identifier, sur certaines zones d'étude particulières, quelles seraient les emplacements les plus favorables à l'interception des eaux de ruissellement tout en permettant d'assurer la pérennité de la zone humide créée.

Pour cela, nous avons dans un premier temps défini quelques zones d'intérêt particulier. Après analyse des critères mis à disposition par la récolte de données et les cartes fournies par le logiciel iRIP sur un échantillon d'une trentaine de zones humides existantes et référencées, le recoupement de certains d'entre eux, qui semblaient les plus pertinents et qui ont été retenus sur les zones d'intérêt, permet de faire ressortir des emplacements les plus aptes à recevoir des zones humides.

1. Récolte de données

La première étape de cette étude a été la récolte de données :

- un Modèle Numérique de Terrain (MNT) à différentes résolutions (donnée d'entrée pour iRIP) :

  Il restitue des valeurs d'altitudes moyennes mesurées sur une surface analysée de taille donnée appelée pixel. L'ensemble des surfaces est ensuite géo-référencé pour donner un MNT de résolution indiqué par la taille du pixel. Dans cette étude, on travaillera avec un MNT30m, issus des données européennes.

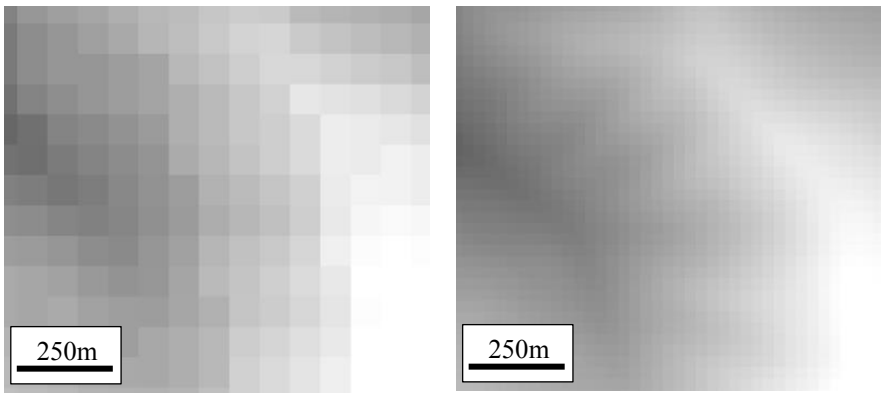


Figure 7 : MNT80m et MNT25m à une échelle 1:5 000

- <u>une carte de l'occupation des sols basée sur le code CORINE Land Cover :</u>

  CORINE Land Cover (CLC) est une base de données géographique produite dans le cadre du programme européen de COoRdination de l'INformation sur l'Environnement (CORINE). Il s'agit d'un inventaire biophysique de l'occupation des terres de trente-huit états européens. Pour la France, le producteur est le Service de l'observation et des statistiques du ministère chargé de l'environnement. La carte CLC est issue de l'interprétation d'images satellitaires et est produite à l'échelle 1/100 000.

  La carte utilisée dans cette étude a été mise à jour en 2006.

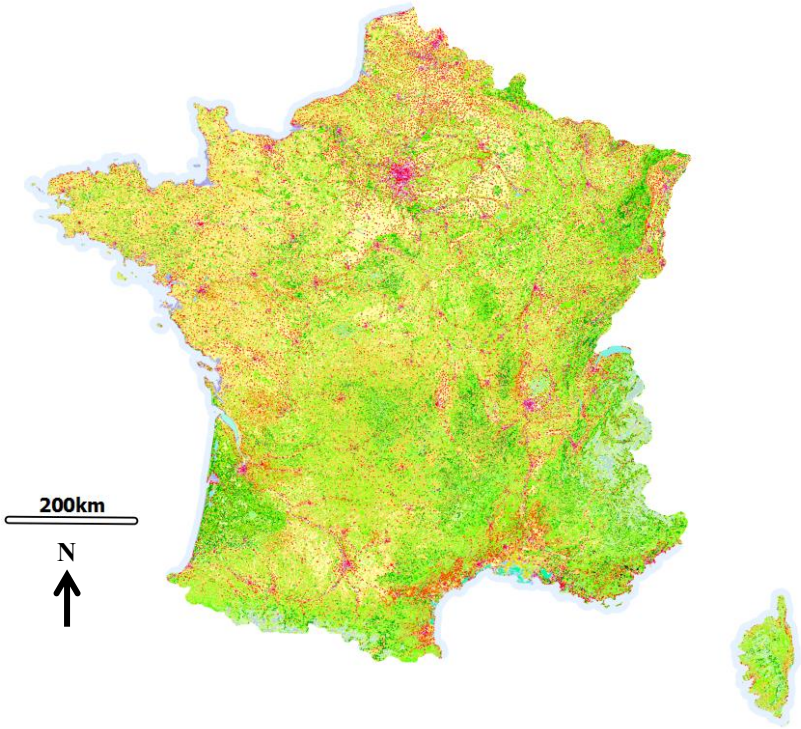


Figure 8 : Occupation des sols, CLC 2006

La table de correspondance des codes est donnée en annexe 2.

- <u>une base de données Sol (BDSol) :</u>

  Elle est proposée par l'INRA et contient des informations concernant différentes caractéristiques du sol. La France est découpée en secteurs possédants des caractéristiques supposées identiques. A chaque secteur est associé un code appelé SMU (Soil Mapping Unit). Puis, à chaque secteur est associé l'aire, le périmètre, la pente, la nature du sol et sa texture (pourcentage de sable et d'argile), les types d'occupation et de végétation dominants, la profondeur des changements de

texture du sol, les altitudes maximale et minimale sur le secteur, la présence d'un système d'irrigation ou de drainage, la présence forte de racines dans le sol, l'imperméabilité à différentes profondeurs, l'humidité du sol si celui-ci est submergé ou imbibé d'eau plus d'un mois et finalement l'indice de confiance dans tous ces résultats.

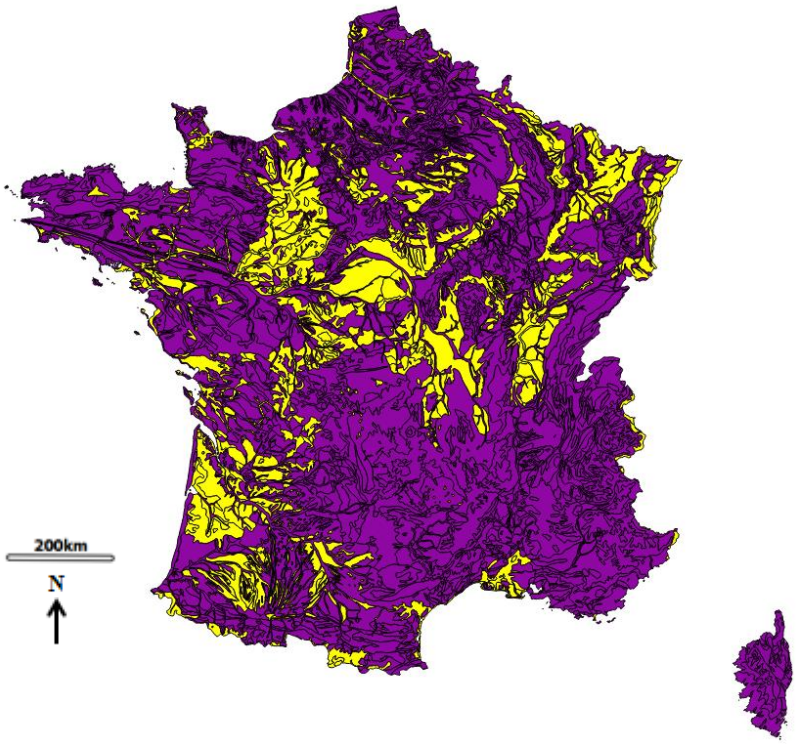


Figure 9 : BDSol, sélection des secteurs où le sol est humide au moins un mois de l'année dans les quarante premiers centimètres du sol

La quantité d'informations données par secteur est importante, mais nous verrons par la suite que l'échelle de définition de ces données n'est pas très adaptée à l'échelle des bassins versants étudiés dans ce projet.

➢ Les linéaires de voies ferrées, routes et réseau hydrographique :

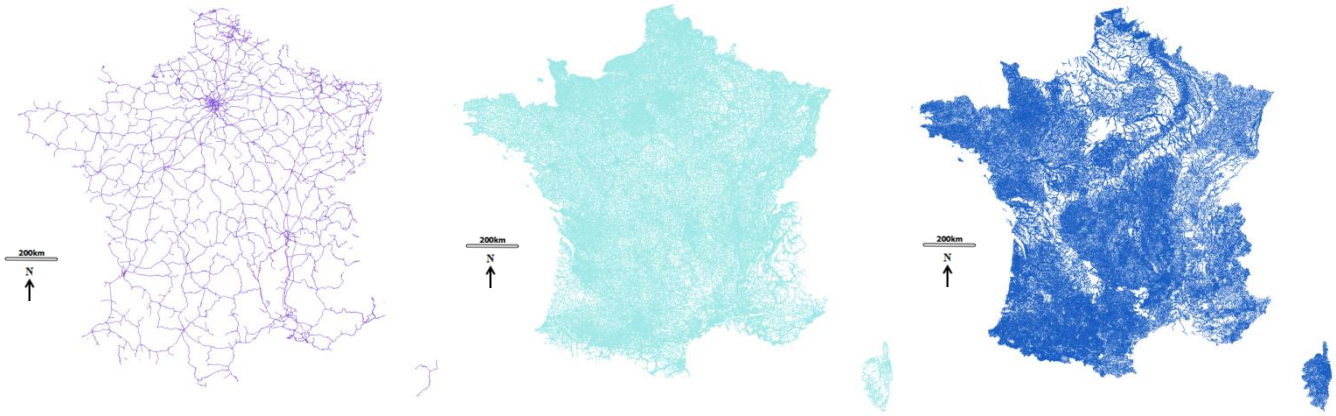


Figure 10 : Réseaux de voies ferrées, de routes et hydrographique français

2. Détermination de zones d'études particulières

- **La LGV Med :**

Le projet étant de trouver un moyen de gérer les eaux de ruissellement en amont des voies ferrées, nous avons choisi l'une d'elle comme axe de travail. La LGV Med ayant été récemment construite, il existe un grand nombre d'informations concernant les ouvrages hydrauliques relatifs à la gestion du ruissellement : fossés de drainage le long des voies, bassins de rétention, ponts de franchissement de cours d'eau, buses, etc. Nous nous intéresserons donc dans la suite de cette étude à ce linéaire qui relie Valence à Marseille.

- **Les zones potentiellement humides :**

Afin de trouver des espaces possibles pour l'installation de zones humides, je me suis référée, pour dégrossir les sites intéressants, à une carte de probabilité de présence de zones potentiellement humides proposée par une équipe de recherche menée par Philippe MEROT de l'INRA de Rennes (MEDDE & GIS Sol, Enveloppes des milieux potentiellement humides de la France métropolitaine. Notice d'accompagnement. Programme de modélisation des milieux potentiellement humides de France, 2014).

Il s'agit d'une carte réalisée à partir d'une méthode novatrice qui prend en compte la variabilité fonctionnelle des zones humides ainsi qu'un modèle servant à distinguer trois types de zones humides : potentielles, effectives et efficaces.

Commençons par donner quelques définitions :

- Une zone humide « potentielle » est une surface susceptible d'héberger une zone saturée en eau pendant une période suffisamment longue pour qu'on lui confère des propriétés d'hydromorphie.
- Une zone humide « effective » est une zone dans laquelle la saturation en eau atteint 100% en période hivernale.
- Une zone humide « efficace » est une surface jouant un rôle significatif pour une fonction donnée.

Ces différents types de zones humides s'imbriquent les unes dans les autres ou se superposent comme le montre la figure 11 :

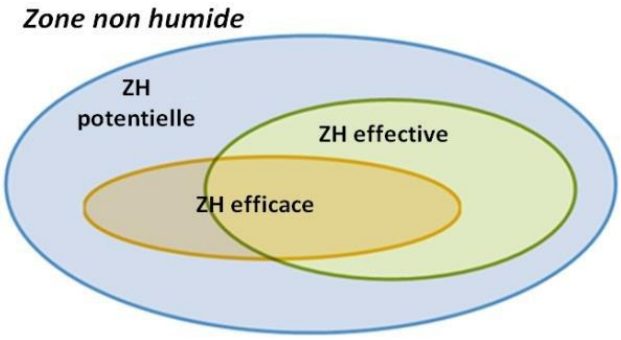


Figure 11 : Représentation de l'organisation des zones humides (MEROT, et al., 2006).

En se basant sur l'évaluation de ces différents types de zones humides et sur des critères géomorphologiques et climatiques, l'équipe a pu prédire une répartition spatiale des zones potentiellement humides (englobant les zones humides effectives et efficaces). La méthode utilisée ne tient pas compte des aménagements réalisés (drainage, assèchement, comblement), ni de l'occupation actuelle du sol. Cela permet de prendre en compte d'anciennes zones humides qui ont pu être modifiées ou asséchées.

De nombreux critères ont été utilisés lors de cette étude. Parmi eux :

- la géologie, la topographie, le climat, la végétation et la densité du réseau de drainage pour l'établissement d' « hydro-écorégions »,
- la pédologie,
- l'enveloppe des inondations potentielles.

Concrètement, la carte représente des secteurs donnant la probabilité de présence de zones potentiellement humides, ou de zones ayant les caractéristiques climato-topo-pédologiques adaptées à la présence de zones humides. Il y a trois niveaux de probabilité de présence de zones potentiellement humides et en tout six secteurs identifiés :

0. milieux non humides
1. probabilité assez forte de trouver un milieu potentiellement humide
2. probabilité forte de trouver un milieu potentiellement humide
3. probabilité très forte de trouver un milieu potentiellement humide

51. plans d'eau

522. estrans

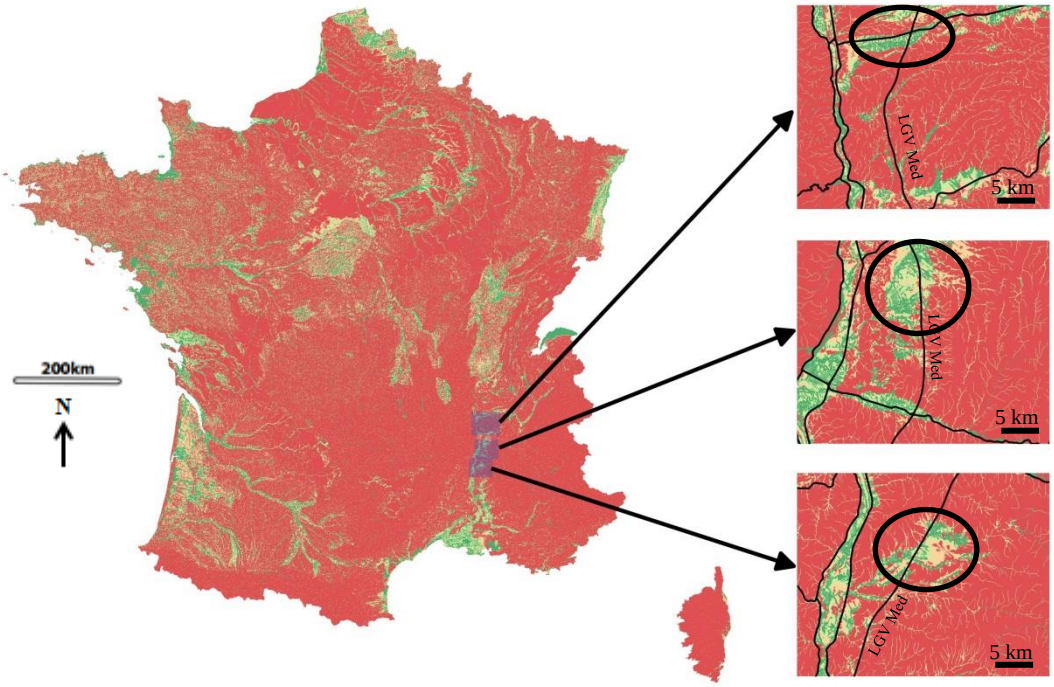


Figure 12 : Carte de probabilité de présence de zones potentiellement humides

Seulement, contrairement à la méthode IRIP, les facteurs utilisés pour l'élaboration de cette carte ne prennent pas en compte l'influence du bassin drainant amont pour chacune des mailles de calcul. D'autre part, cette méthode prend en compte certains facteurs comme la climatologique et les cartes de risque d'inondation par débordement de cours d'eau que nous n'utiliserons pas ici. En effet,

nous cherchons à déterminer un emplacement propice à l'établissement d'une zone humide qui intercepterait les eaux de ruissellement, et non celles liées aux débordements des cours d'eau.

Cependant, l'analyse de la carte de probabilité de présence des zones potentiellement humides croisée avec le réseau de voies ferrées permet tout de même de faire ressortir des zones d'étude plus particulièrement intéressantes. En tout, entre Lyon et Marseille, sept zones ont été révélées comme étant potentiellement favorables à l'accueil d'une zone humide (quelques-unes de ces zones sont visibles dans les encadrés droits de la figure 12, l'ensemble des sept zones est représenté en figure 13).

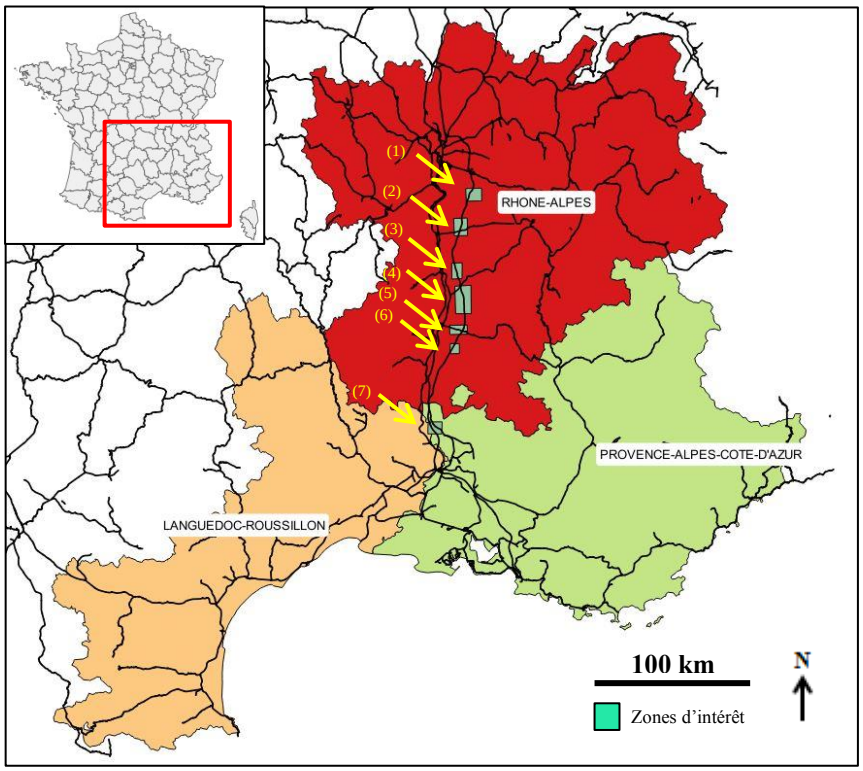


Figure 13 : Zones à forte probabilité de présence de zones potentiellement humides

- **Les bassins de rétention :**

Pour affiner encore la recherche et diminuer le nombre et la taille des sites de recherche, nous avons tenté de croiser les zones déterminées plus haut à d'éventuels incidents sur cette ligne qui traduiraient des problèmes de ruissellement. Or, dans le cas de cette voie, l'enjeu est tel que les coefficients de sécurité employés pour le dimensionnement des ouvrages sont suffisants pour éviter tout incident. D'autre part, en ce qui concerne le reste du réseau, l'historique des Voies Ferrées de France est suffisamment long pour assurer aujourd'hui une certaine robustesse au réseau.

En l'absence d'incident, nous avons donc considéré les zones présentant des bassins de rétention mis en place en aval des voies, traduisant la nécessité d'une gestion plus poussée du ruissellement. Le croisement des sept zones précédemment retenues avec la liste des bassins de rétention présents sur cette ligne, fait ressortir trois principaux sites d'étude avec un ensemble de dix-neuf tronçons de voie à étudier dont treize se trouvent en région Rhône-Alpes.

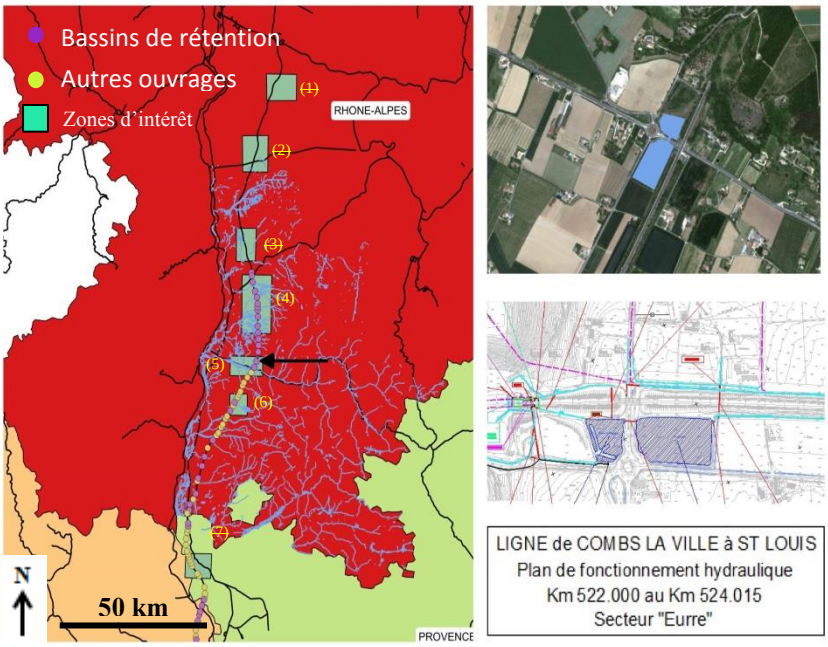


Figure 14 : Croisement des zones d'étude intéressantes à l'inventaire des ouvrages hydrauliques le long de la LGV Med et exemple d'un bassin de rétention au pk522

- **Les tronçons retenus :**

Les zones (1), (2) et (3) ne seront pas retenues car les ouvrages de rétentions présents sur ces tronçons ne font pas partie de la liste des ouvrages disponibles. D'autre part, la zone (7) ne sera pas non plus retenue car elle est trop éloignée de Lyon pour pouvoir envisager une éventuelle visite de terrain. Trois grandes zones d'intérêt ((4), (5) et (6)) sont finalement étudiées entre Valence et Montélimar.

Après analyse des treize tronçons présentant des bassins de rétention en région Rhône Alpes, deux seront réellement étudiés :

Pkdébut	PKfin
508.534	511.000
540.920	542.001

Tableau 3 : Tronçons de ferroviaire linéaire retenus

Ceux-ci feront l'objet d'une visite sur terrain (cf. III-4.).

3. Utilisation de la méthode IRIP pour retrouver des zones humides

- **Recherche de critères de détection des zones humides par une analyse des valeurs minimales et maximales des indicateurs dans ces zones :**

Comme il a été énoncé dans la partie II, les zones humides naissent du croisement de plusieurs critères comme la topographie et la pédologie.

La recherche de ces critères se fera à partir d'un échantillon de zones humides répertoriées par la DREAL à travers la région Rhône Alpes : trente entités seront analysées (cinq dans l'Ain (01), quatre en Ardèche (07), quatorze dans la Drôme (26) et sept en Isère (38)). Il est à noter que la plupart des zones humides répertoriées correspondent à des bordures de cours d'eau. Certaines autres, telles que les mares, semblent se détacher. Dans le cadre de cette étude, on se concentrera plutôt sur les zones non linéaires qui n'englobent pas de cours d'eau, ou du moins pas sur de longues distances. En effet, les bordures directes de cours d'eau sont davantage concernées par les expansions de crue que par l'interception des eaux de ruissellement. D'autre part, nous avons énoncé plus haut que nous nous placerions en tête de petits bassins, sans présence de cours d'eau trop importants.

Dans chacune des zones humides sélectionnées, on s'attachera à relever les valeurs prises par les critères suivants :

- le potentiel de production de ruissellement
- le potentiel de transfert de ruissellement
- le potentiel d'accumulation du ruissellement
- la pente
- l'indice topographique
- les aires drainées
- la présence (ou non) d'un cours d'eau dans, ou à proximité de la zone humide étudiée

Pour cela, nous nous concentrerons sur de longs tronçons de voies ferrées qui interceptent les écoulements de grands bassins versants : on parlera de bassin versant associé au tronçon de voie étudié. Ainsi, après avoir appliqué la méthode IRIP sur ces grandes étendues, nous pourrons relever les valeurs prises par chaque pixel se trouvant à l'intérieur des zones humides, elles même inscrites à l'intérieur des bassins versants étudiés. Ce relevé sera réalisé pour chacune des cinq cartes

d'indicateurs. Pour obtenir un échantillon de trente individus, cinq grands bassins versants seront étudiés (cf. figures 15 et 16).

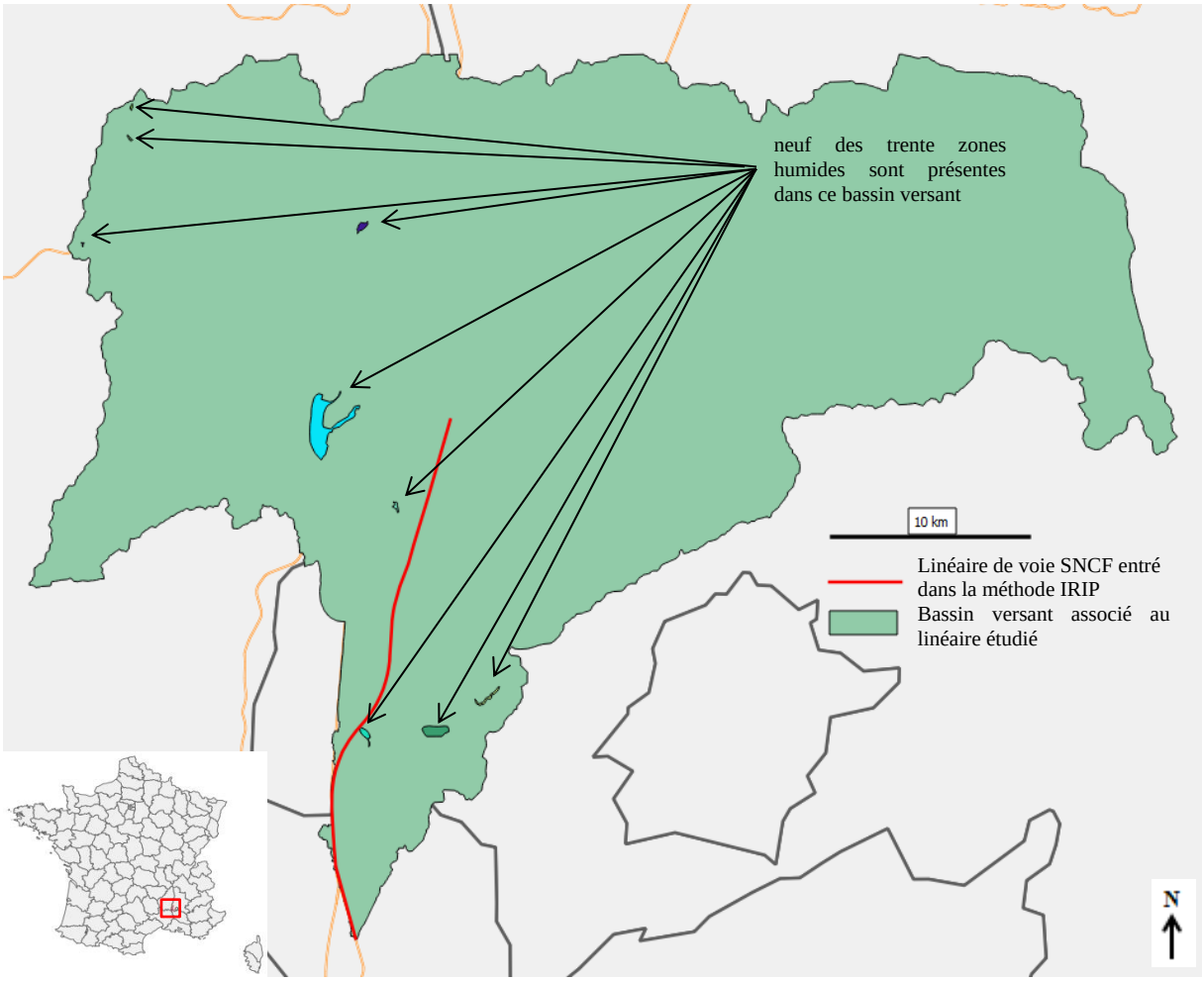


Figure 15 : Exemple d'un long linéaire étudié, de son bassin versant associé et de neuf zones humides contenues dans ce bassin sur les trente étudiées

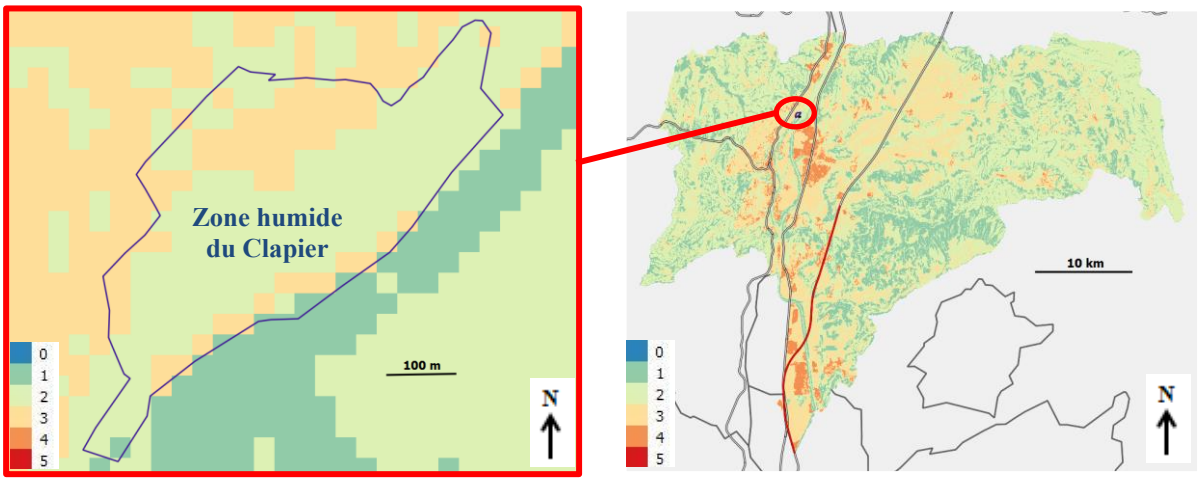


Figure 16 : Exemple de l'indicateur de production du ruissellement calculé sur le bassin versant de la figure 15 (à droite), et agrandi sur une zone humide située dans ce bassin versant (à gauche)

Une analyse des indices minimum et maximum observés dans chaque zone humide permet de se faire une première idée de l'étendue des valeurs à considérer pour retrouver des emplacements aptes à recevoir des zones humides. Dans l'exemple de la figure 16 (à gauche), le minimum de potentiel de production du ruissellement vaudra 1 et le maximum vaudra 3. Cependant, des effets de bord, notamment remarquables pour le cas du facteur de pente, peuvent faire ressortir des valeurs plutôt aberrantes. Il faudra donc rester vigilent et critique vis-à-vis des résultats obtenus. Ceux-ci sont donnés en annexe n°3 et analysés ci-dessous.

➢ <u>Production du ruissellement :</u>

Le niveau est minimal	Pourcentage
0	10 %
1	26,67 %
2	56,67 %
3	6,67 %
total	100 %

Le niveau est maximal	
0	3,33 %
2	10 %
3	63,33 %
4	23,33 %
total	100 %

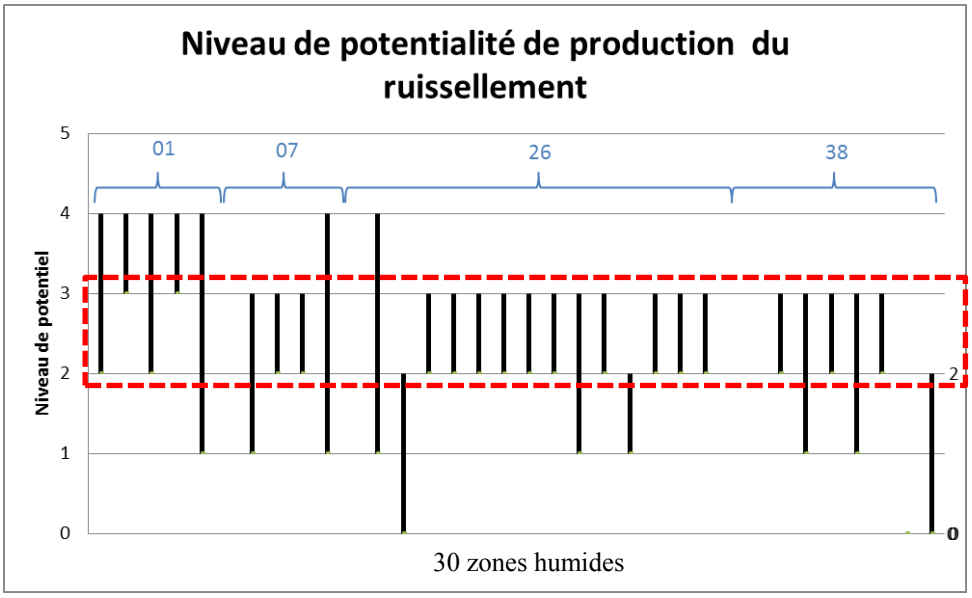


Figure 17 : Etendue des valeurs de potentialité de production du ruissellement observées dans les trente zones humides classées par département

L'étude minimum/maximum permet d'observer qu'une majorité des minima ont une valeur de 2 et qu'une majorité des maxima ont une valeur de 3. Si on considère un intervalle de valeurs à retenir entre 2 et 3, on recouvrera 100% des zones humides de l'échantillon. On remarque aussi que dans ce cas, on retiendra deux valeurs sur les six disponibles. L'intervalle est donc restreint de 66% par rapport à la palette de valeurs possibles.

➢ Transfert du ruissellement :

Le niveau est minimal	Pourcentage
0	93,33 %
1	6,67 %
total	100 %
Le niveau est maximal	
2	26,67 %
3	56,67 %
4	16,67 %
total	100 %

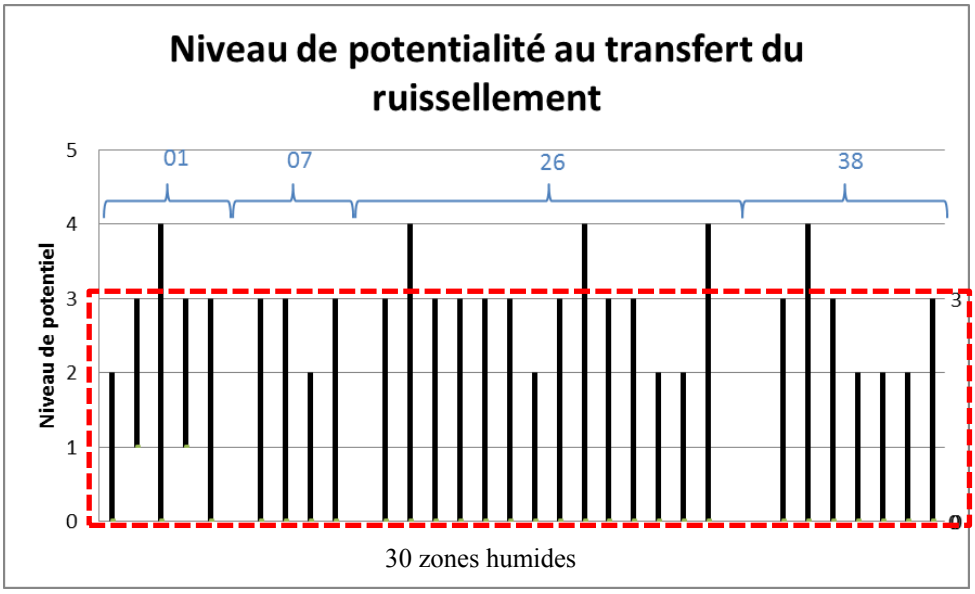


Figure 18 : Etendue des valeurs de potentialité de transfert du ruissellement observées dans les trente zones humides classées par département

De même que pour l'indice de potentiel de production du ruissellement, on observe qu'une majorité des minima dans le cas du transfert du ruissellement, ont une valeur de 0 et qu'une majorité des maxima ont une valeur de 3. Si on considère un intervalle de valeurs à retenir entre 0 et 3, on recouvrera à nouveau 100% des zones humides de l'échantillon. Cependant, l'intervalle des valeurs possibles sera restreint de seulement 33%.

➢ Accumulation du ruissellement :

Le niveau est minimal	Pourcentage
0	20 %
1	73,33 %
2	6,67 %
total	100 %
Le niveau est maximal	
3	10 %
4	33,33 %
5	56,67 %
total	100 %

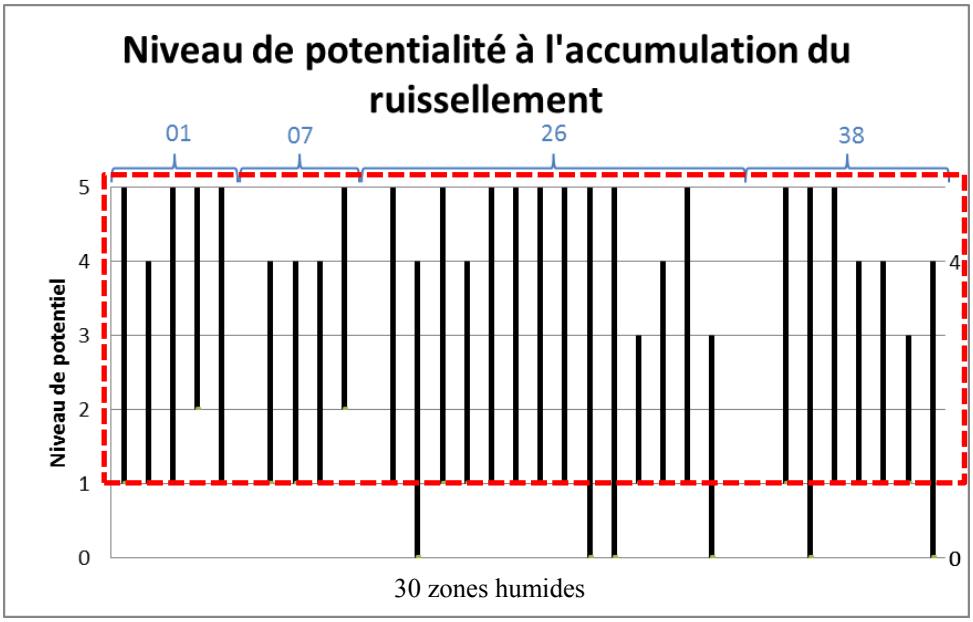


Figure 19 : Etendue des valeurs de potentialité d'accumulation du ruissellement observées dans les trente zones humides classées par département

Finalement, pour l'indice de potentialité d'accumulation du ruissellement, on observe qu'une majorité des minima ont une valeur de 1 et qu'une majorité des maxima ont une valeur de 5. Si on considère un intervalle de valeurs à retenir entre 1 et 5, on intersectera 100% des zones humides de l'échantillon. Cependant, l'intervalle des valeurs possibles sera restreint de seulement 16,7%. On peut donc penser que cet indicateur n'est pas un critère pertinent pour retrouver des zones potentiellement humides.

➢ Pente :

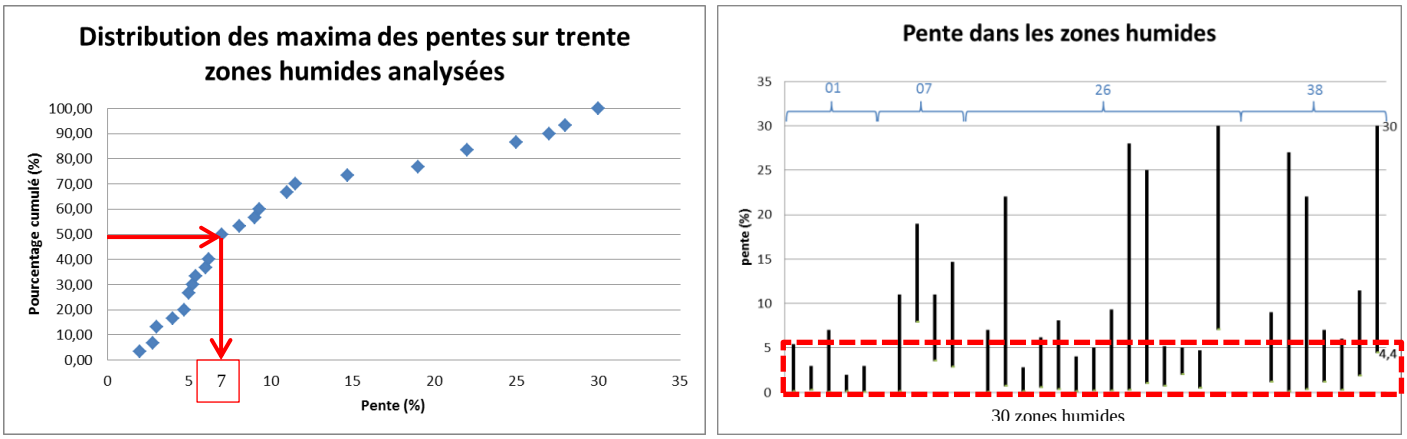


Figure 20 : Analyse de la répartition des valeurs maximales de pente relevées et étendue des valeurs de pentes observées dans les trente zones humides classées par département

On remarque que 50% des maxima de pentes observées sont inférieurs à 7%. Cependant, étant donné que les zones humides existantes ont été répertoriées à partir de critères propres à chaque organisme qui les relevait, les délimitations peuvent parfois être approximatives. Ainsi, alors que la réalité de terrain les exclurait, on pourra trouver sur les plans des valeurs de pente extrêmement grandes le long des bordures des zones humides. En effet, il est surprenant de trouver des valeurs telles que 20%, 25% ou même 30% de pente alors qu'une étude de pré-localisation des zones humides sur le territoire du SAGE Nappe de Beauce et de ses milieux aquatiques associés, propose une méthode de localisation des zones potentiellement humides avec un seuil de pente fixé à 10,5%. D'autre part, le MNT utilisé pour cette étude est constitué de mailles de 30m. Dans les zones à fortes variations de pentes, on sait que la pente n'est pas homogène sur la maille mais qu'elle est le résultat d'une opération sur les valeurs des altitudes moyennes des mailles voisines. Toutes ces imprécisions mènent à des valeurs quelques fois aberrantes en particulier sur les bords des zones délimitées. Pour la réalisation d'un premier filtre, nous retiendrons la valeur de 5% comme valeur maximale, mais cette remarque nous mènera à la réalisation d'une étude plus précise de la répartition de l'ensemble des valeurs relevées dans les zones humides.

➢ Indice topographique :

Valeur minimale	11,8
Valeur maximale	28,6
Moyenne des minima	13,4±0,7
Moyenne des maxima	23,459±3,2
Pourcentage au-dessus de 25	33,30%
Pourcentage en-dessous ou égal à 25	66,60%
total	100%

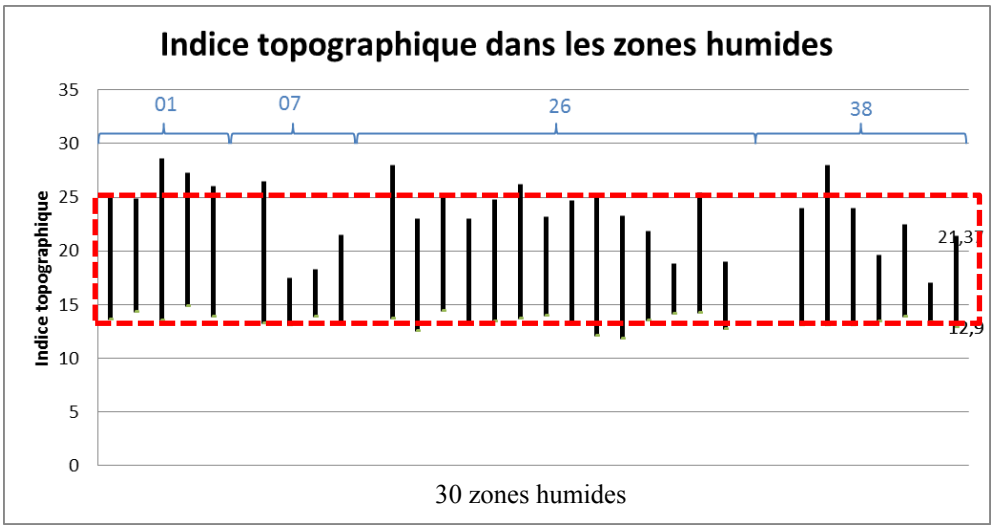


Figure 21 : Etendue des valeurs de l'indice topographique observées dans les trente zones humides classées par département

On remarque que les valeurs minimales semblent concorder autour de la valeur moyenne 13,4. Pour ce qui est de la valeur maximale, elle est très variable et il est difficile de poser une limite significative. Pour un premier filtrage grossier, on choisira les valeurs comprises entre 13 et 25.

Remarque : Le cas particulier du secteur de la Dombes (01 Ain) est détaillé en annexe 4.

➢ Aires drainées :

Une étude des aires drainées maximales obtenues sur les trente zones humides permet d'obtenir la figure 22 suivante :

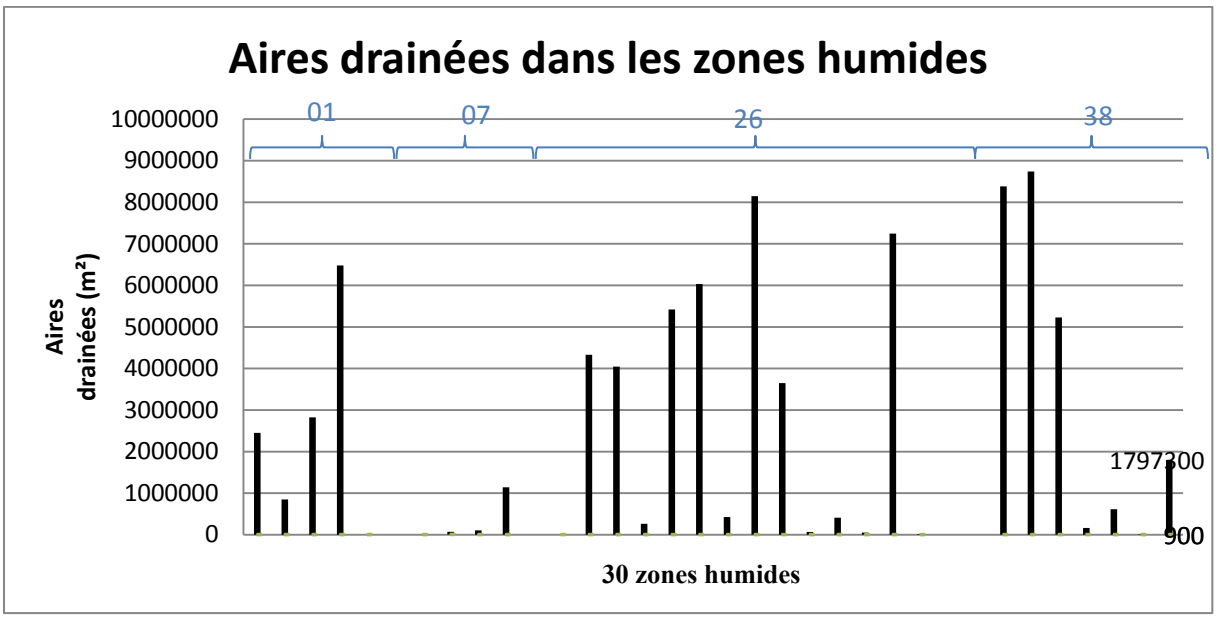


Figure 22 : Graphe des aires drainées maximales dans les trente zones humides

Le graphe précédant ne permettant pas de tirer de valeurs significatives pour cet indicateur, j'ai choisi d'étudier le rapport entre la plus grande valeur d'aire drainée relevée dans chaque zone humide avec la surface de celle-ci (cf. figure 23).

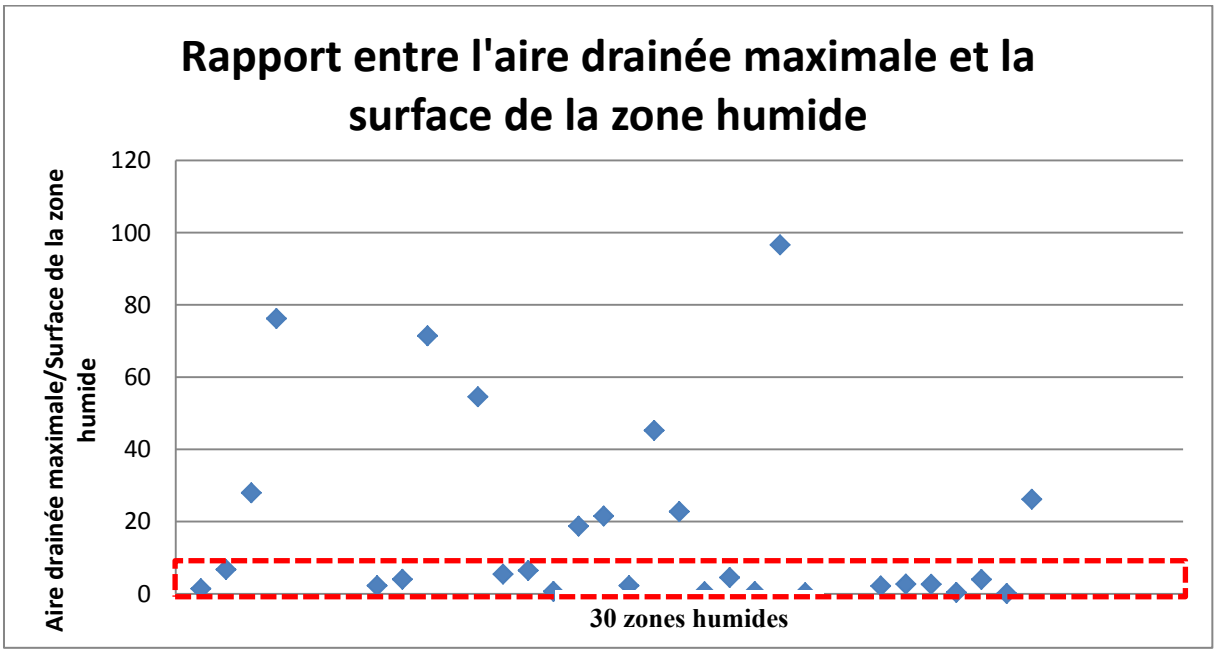


Figure 23 : Rapport entre les aires drainées maximales et les surfaces des zones humides

On remarque que la plupart des valeurs de ce rapport sont faibles (comprises entre 0 et 7) ce qui laisse à penser que la surface drainée est relativement faible par rapport à l'étendue de la zone humide. Ceci nous conforte dans l'idée d'appliquer cette méthode à l'échelle de petits bassins versants.

De plus, on remarque que quelques-uns des rapports sont inférieurs à 1. Cela signifie que la surface de la zone humide suffit à sa propre alimentation (sol extrêmement imperméable et/ou présence d'une nappe souterraine affleurente). En effet, dans les zones où se situent les zones humides de l'échantillon présentant une valeur du rapport inférieur à 1, l'étude d'une carte des risques de remontée de nappe du BRGM permet de mettre en évidence qu'en effet, certaines d'entre elles se trouvent bien sur des zones à fort risque de remontée de nappe.

Par la suite, nous pourrons étudier cette carte de représentation des zones à fort potentiel de remontée de nappe à titre indicatif. Mais, ce critère ne pourra être pris comme discriminant puisque plusieurs zones humides de l'échantillon se trouvent en zone de faible risque, voire absence de remontée de nappe.

➢ Résumé :

Filtrage après l'étude minima/maxima :

Indicateurs	Valeurs retenues
Carte de potentiel de production du ruissellement	2 - 3
Carte de potentiel de transfert du ruissellement	0 - 3
Carte de potentiel d'accumulation du ruissellement	1 - 5
Carte des pentes	inférieur à 5%
Carte de l'indice topographique	13 - 25

Figure 24 : Tableau récapitulatif des valeurs d'indices retenus par la méthode min/max

- **Vérification de la pertinence de ces critères et limites de la méthode min/max :**

Un premier filtre réalisé en croisant les niveaux de potentiel de production du ruissellement de 2 et 3, de transfert du ruissellement de 0 à 3, d'accumulation du ruissellement de 1 à 5, des valeurs de pentes inférieures à 5% et des valeurs de l'indice topographique comprises entre 13 et 25, est appliqué à un bassin versant non encore exploité. Le but est de montrer que les zones humides recensés sur ce bassin versant se retrouvent bien, après filtrage, dans la zone résiduelle. Les résultats sont représentés dans la figure suivante.

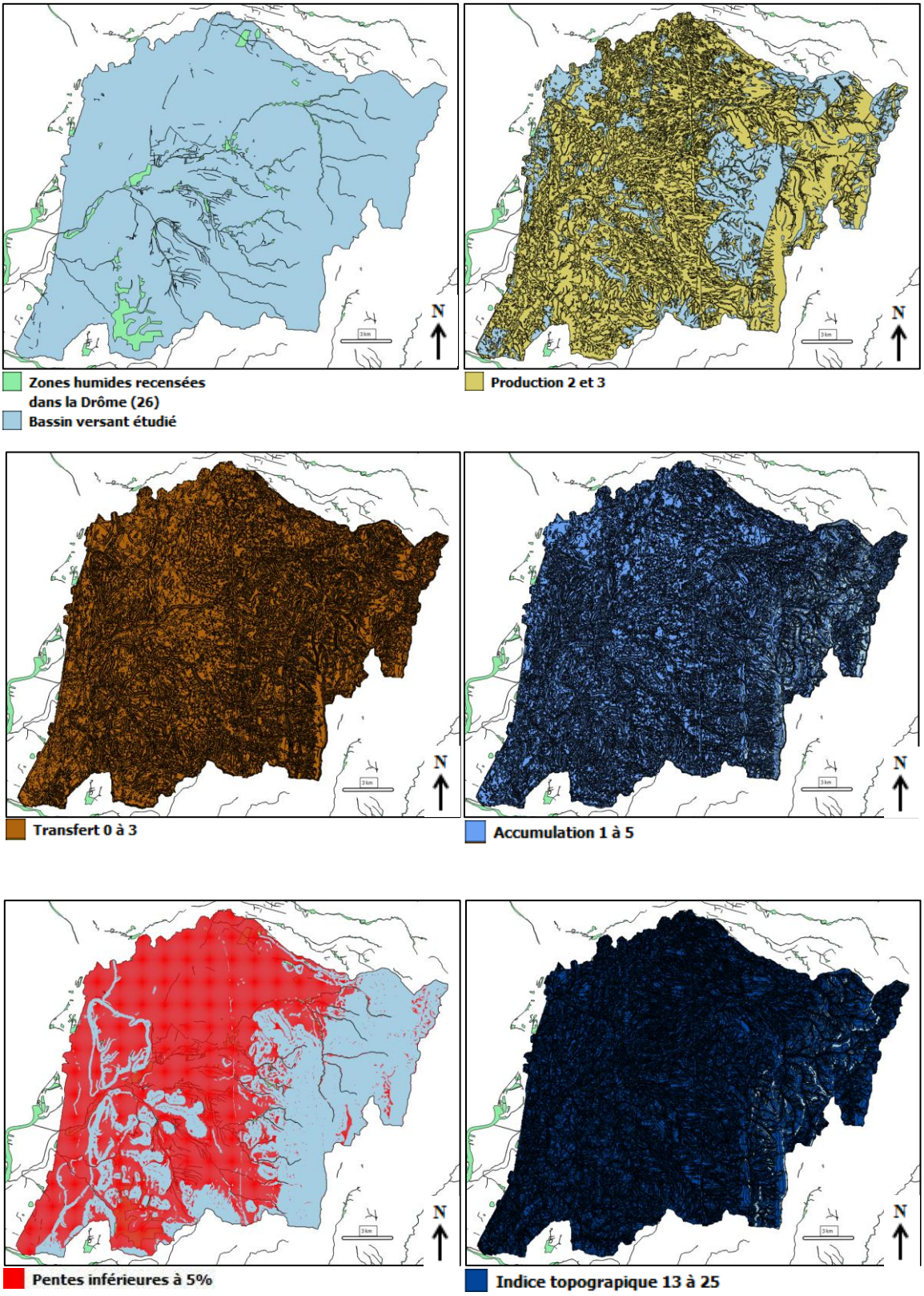


Figure 25 : Ensemble du jeu d'indicateurs après filtrage sur une zone test non encore utilisée pour l'étude statistique

L'intersection de ces cinq cartes correspond au résultat de notre étude. Celui-ci est donnée en figure 26.

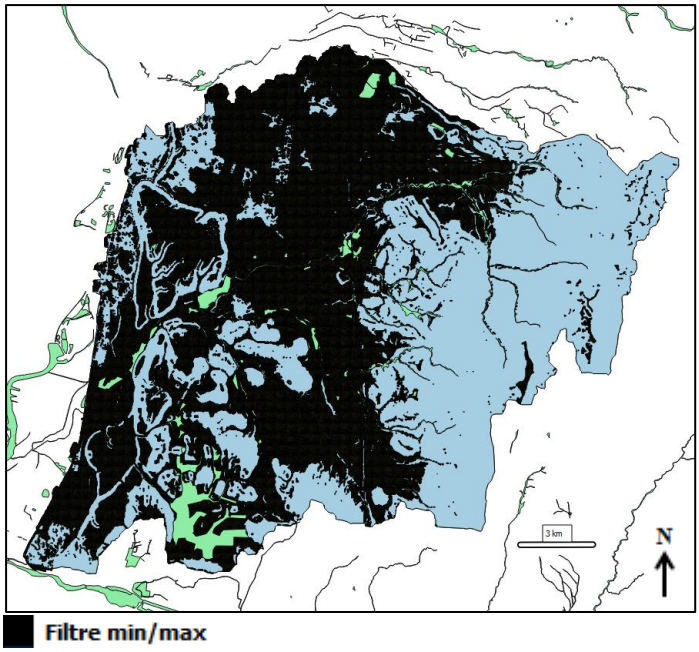


Figure 26 : Filtre grossier issu de l'étude min/max

On note que les zones humides (en vert-clair) sont bien comprises dans la couche de croisement des critères. On remarque aussi qu'une large partie de la surface retenue n'est pas répertoriée comme zone humide. On peut donc dire qu'à ce stade, nous avons trouvé des zones favorables à l'implantation de nouvelles zones humides ou d'anciennes zones humides asséchées aujourd'hui disparues mais qu'il reste encore à préciser les critères de filtrage car une partie des surfaces sélectionnées restent non favorables au développement de zones humides.

- **Recherche de critères de détection des zones humides par une analyse plus fine des valeurs des indicateurs et facteurs relevés dans les zones humides :**

La réalisation d'un deuxième filtre basé sur l'exploitation des résultats d'une étude statistique plus fine réalisée grâce aux logiciels IDRISI pour le relevé des valeurs et Matlab pour l'exploitation des données, permet d'obtenir un résultat plus adapté. Cette analyse consiste à relever l'ensemble des valeurs des indicateurs et facteurs contenues dans les zones humides et d'en faire une étude statistique (établissement d'histogrammes et de « boîtes à moustaches »). La prépondérance de certaines valeurs permettra de choisir les limites de filtrage pour retrouver sur le bassin « test » les zones potentiellement humides.

➢ <u>Production du ruissellement :</u>

En reprenant l'exemple donnée en figure 16 (p.34) on comprendra mieux l'étude réalisée ici. Il s'agit cette fois de relever l'ensemble des valeurs de potentiel de production du ruissellement présentes dans les zones humides et d'en tirer une tendance de répartition. C'est ce que l'on peut voir sur la figure 27 ci-dessous.

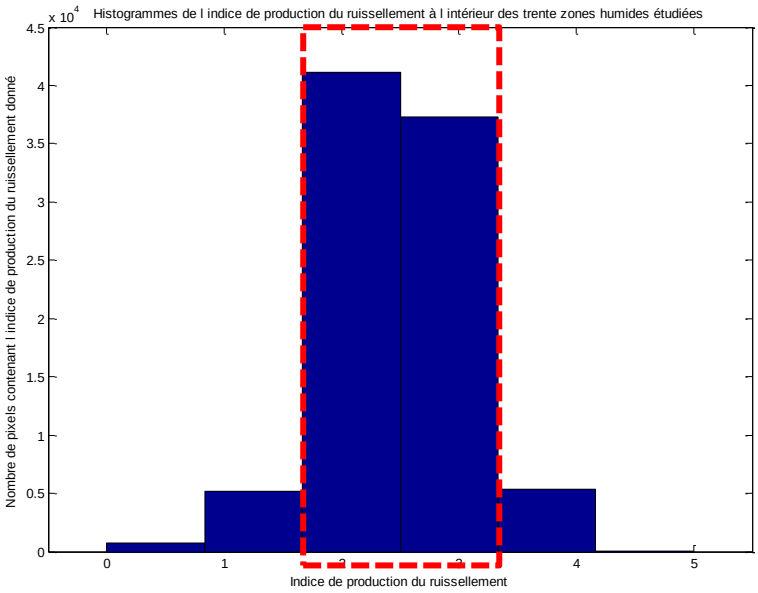


Figure 27 : Répartition des valeurs d'indices de potentiel de production du ruissellement à l'intérieur des zones humides

Ce graphique permet de visualiser la prépondérance de certaines valeurs (ici 2 et 3). On retrouve bien les valeurs retenues lors de la précédentes étude min/max.

➢ <u>Transfert du ruissellement :</u>

L'analyse menée sur l'indicateur de potentiel de transfert du ruissellement permet d'obtenir la figure 28. On peut noter la prépondérance des valeurs comprises entre 0 à 2. Ainsi, cette deuxième analyse donne l'occasion d'ajuster le filtre en éliminant la valeur 3 précédemment retenue.

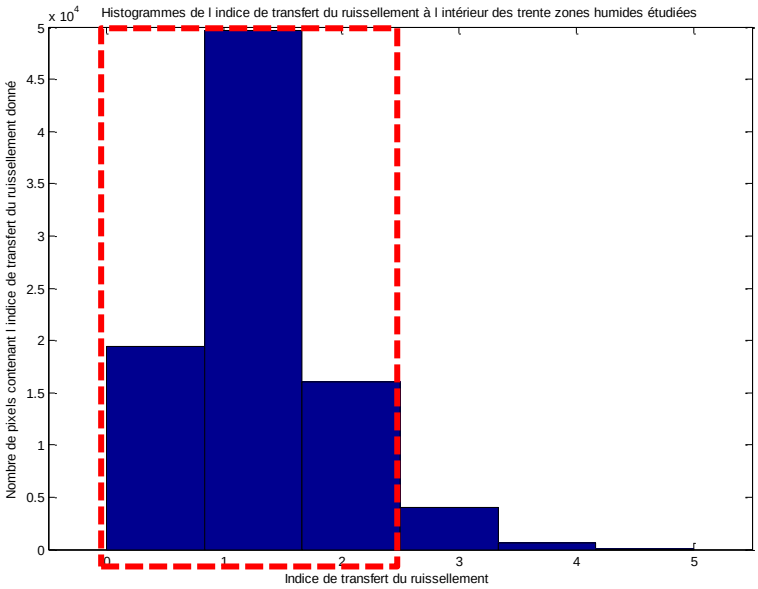


Figure 28 : Répartition des valeurs d'indices de potentiel de transfert du ruissellement à l'intérieur des zones humides

➢ <u>Accumulation du ruissellement :</u>

L'analyse des valeurs prises par l'indicateur de potentiel d'accumulation à l'intérieur des zones humides donne la figure 29. Celle-ci fait ressortir l'intérêt de cette deuxième analyse, en révélant la prépondérance de deux valeurs plus particulièrement. Pour notre étude, on retiendra donc ces valeurs de 2 et 3 pour la confection du filtre.

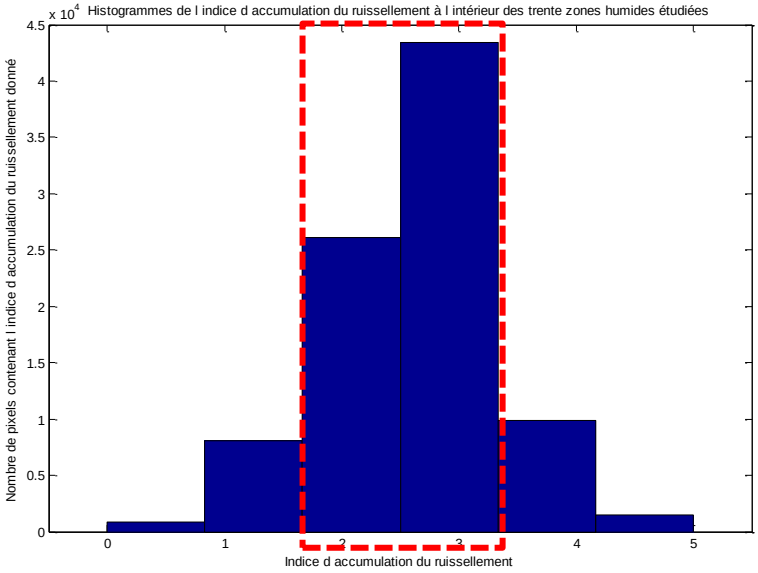


Figure 29 : Répartition des valeurs d'indices de potentiel d'accumulation du ruissellement à l'intérieur des zones humides

➢ <u>Pente :</u>

Une nouvelle fois, une étude statistique plus poussée sur les valeurs de pentes retrouvées à l'intérieur des zones humides de l'échantillon, fait ressortir une prépondérance des valeurs de pentes comprises entre 0 et 4%. Cette deuxième analyse permet en effet de minimiser l'impact des « effets de bords ». Résulte alors l'histogramme donné en figure 30.

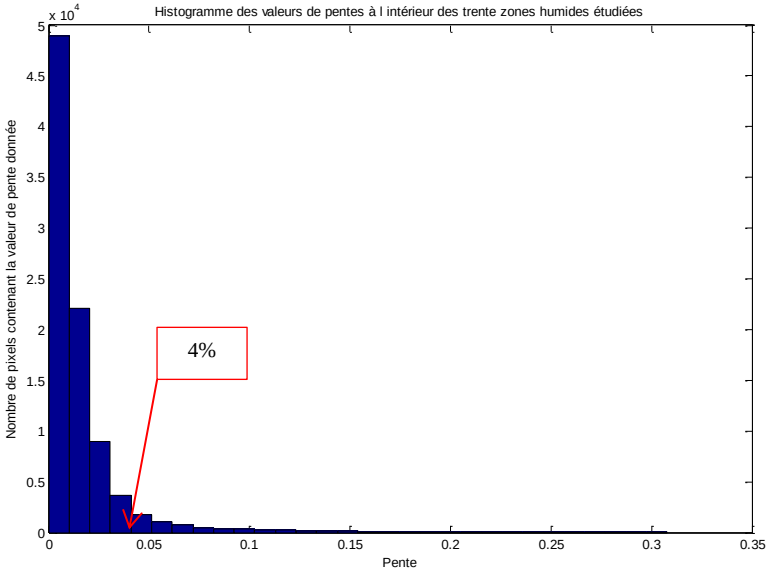


Figure 30 : Répartition des valeurs de pente relevée à l'intérieur des zones humides

Une étude semblable menée sur l'ensemble des bassins versants permet de comparer les valeurs obtenues précédemment. La figure 31 illustre cette comparaison.

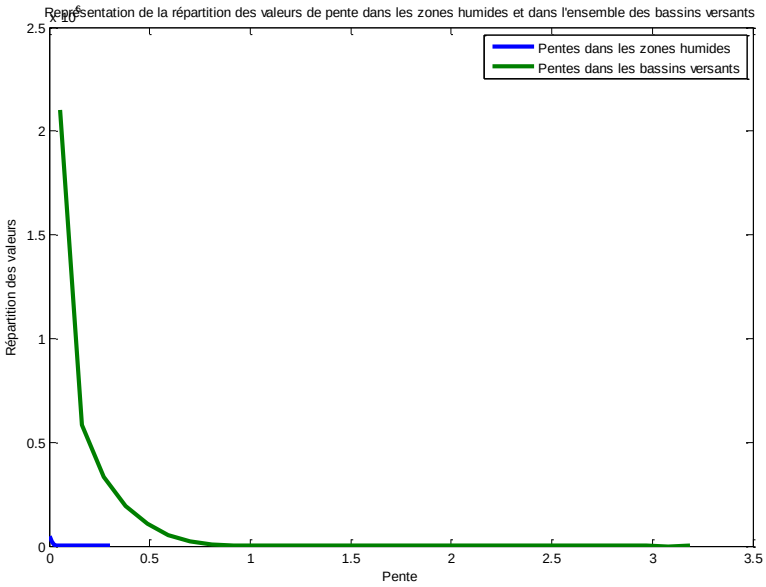


Figure 31 : Répartition des valeurs de pente dans les zones humides et dans l'ensemble des bassins versants

Pour plus de visibilité, on analysera la figure précédente avec une répartition relative des valeurs de pente données, c'est-à-dire que l'on va considérer une répartition donnée en pourcentage (division par le nombre de pixels relevés dans les zones humides pour la courbe des zones humides et division par le nombre de pixels relevés dans les bassins versants pour la courbe des bassins versants). On obtient alors la figure 32 suivante.

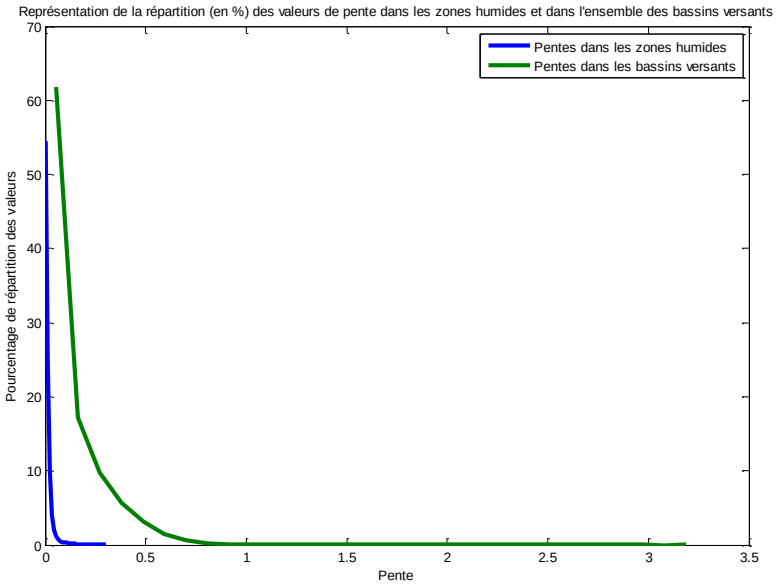


Figure 32 : Répartition en pourcent des valeurs de pente dans les zones humides et dans l'ensemble des bassins versants

Comme on pouvait s'y attendre, on remarque une concentration importante des pentes faibles à l'intérieur des zones humides.

Finalement, une analyse par « boîte à moustaches » permet d'obtenir des valeurs de répartition plus précises :

- « Boîte à moustaches » pour les valeurs relevées dans les zones humides :

Médiane	0,0090062
Quartile Q1	0,0033841
Quartile Q3	0,018058
Extrémité inférieure	2,2478e-8
Extrémité supérieure	0,040063
Maximum	0,30794
Minimum	2,2478e-8
Nombre de points	89786
Nombre fini d'Outliers	6315

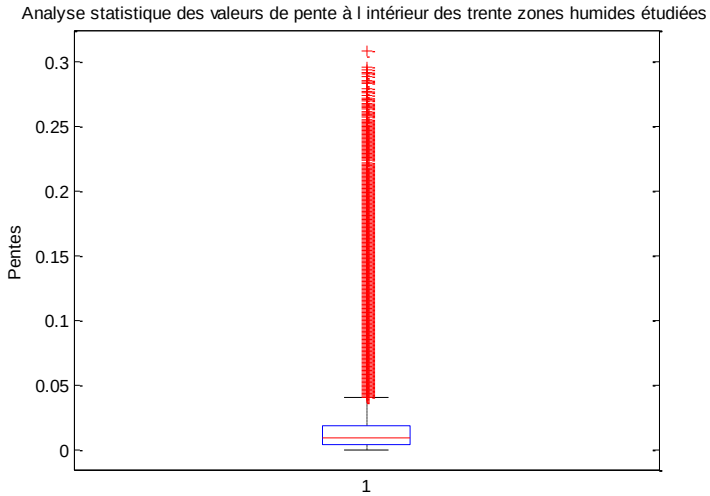


Figure 33 : « Boîte à moustache », valeurs de pente relevées dans les zones humides

- « Boîte à moustaches » pour les valeurs relevées dans les bassins versants :

Médiane	0,061823
Quartile Q1	0,01727
Quartile Q3	0,18543
Extrémité inférieure	2,2478e-8
Extrémité supérieure	0,43766
Maximum	3,242
Minimum	2,2478e-8
Nombre de points	3402203
Nombre fini d'Outliers	186843

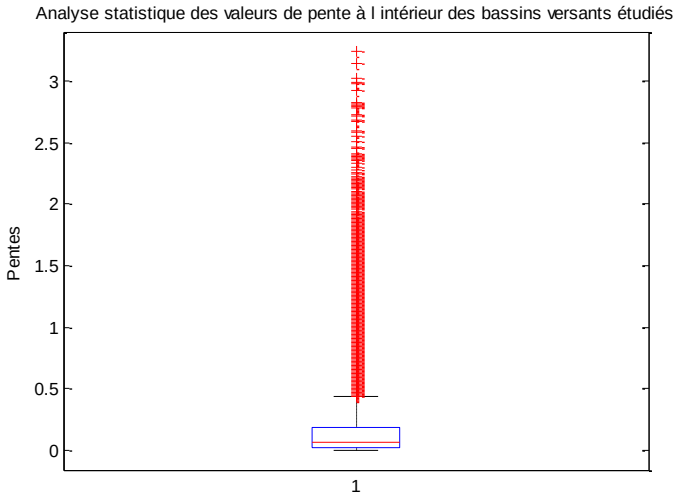


Figure 34 : « Boîte à moustaches », valeurs de pentes relevées dans l'ensemble des bassins versants

Grâce à l'établissement de ces valeurs nous choisirons de fixer les valeurs seuils de pente pour le filtre de 0 à 4%

➢ <u>Indice topographique :</u>

L'étude de la répartition des valeurs de l'indice topographique sur l'ensemble des bassins versants tracés par Matlab suite au traitement par ISIDRI permet de visualiser une tendance de concentration des indices autour de la valeur 15 comme le montrent la figure 35 suivante :

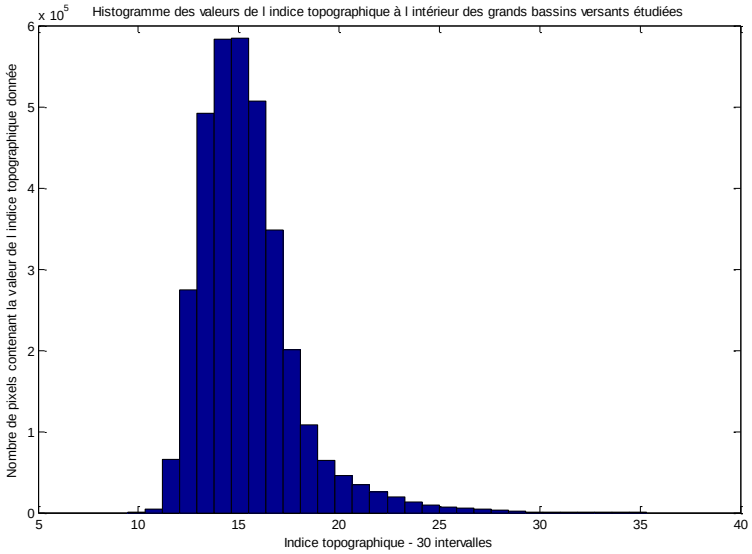


Figure 35 : Répartition des valeurs de l'indice topographique dans l'ensemble des bassins versants étudiés

D'autre part, l'étude de la répartition des valeurs de cet indice à l'intérieur des zones humides comparée au graphe précédent, donnée en figure 36, permet de mettre en évidence un décalage des pics de répartition. Ce décalage permet de valoriser cet indice dans la participation au filtrage des données.

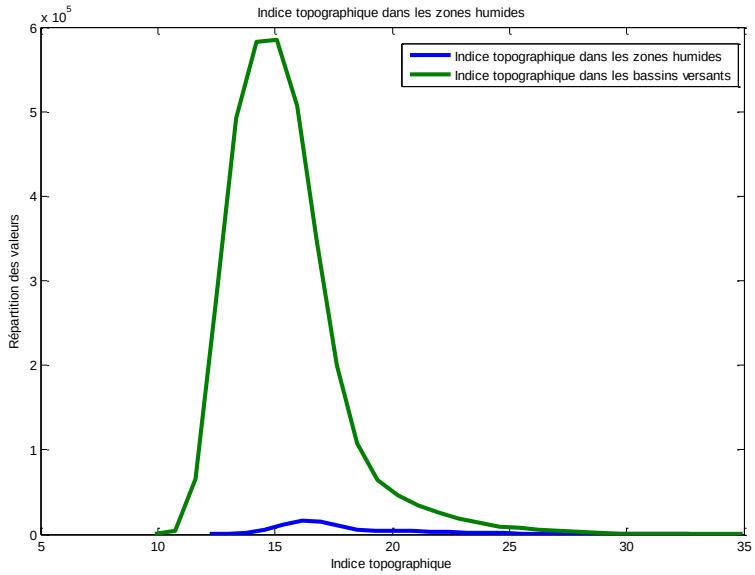


Figure 36 : Répartition des valeurs de l'indice topographique à l'intérieur des zones humides et de l'ensemble des bassins versants

Afin de faciliter la visualisation du résultat, la figure 37 donne une version relative calculée avec le même procédé que dans le cas précédent des pentes.

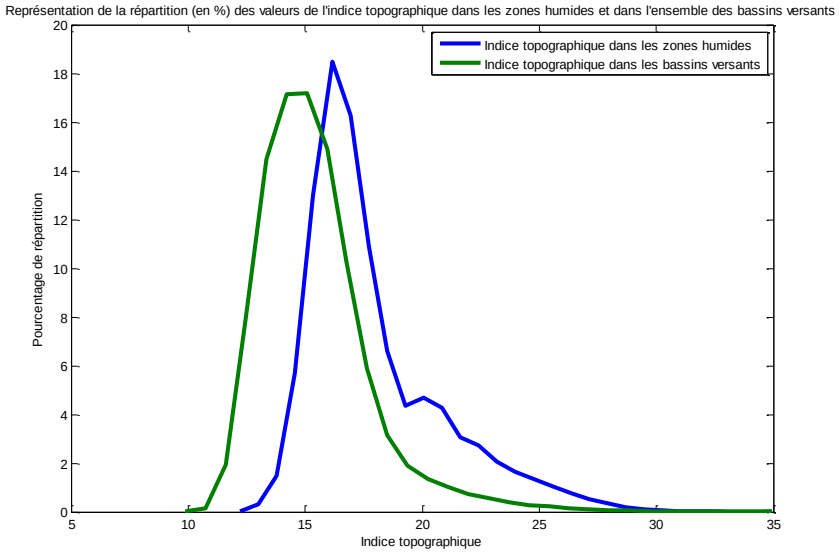


Figure 37 : Répartition relative (en %) des valeurs de l'indice topograhique à l'intérieur des zones humides et de l'ensemble des bassins versants

Enfin, comme pour le cas des pentes, une étude par boîtes à moustaches permet de fixer les valeurs qui seront retenues pour le filtre :

- « Boîte à moustaches » pour les valeurs relevées dans les zones humides :

Médiane	17,0425
Quartile Q1	15,9499
Quartile Q3	19,244
Extrémité inférieure	11,8326
Extrémité supérieure	24,185
Maximum	35,3457
Minimum	11,8326
Nombre de points	89786
Nombre fini d'Outliers	4287

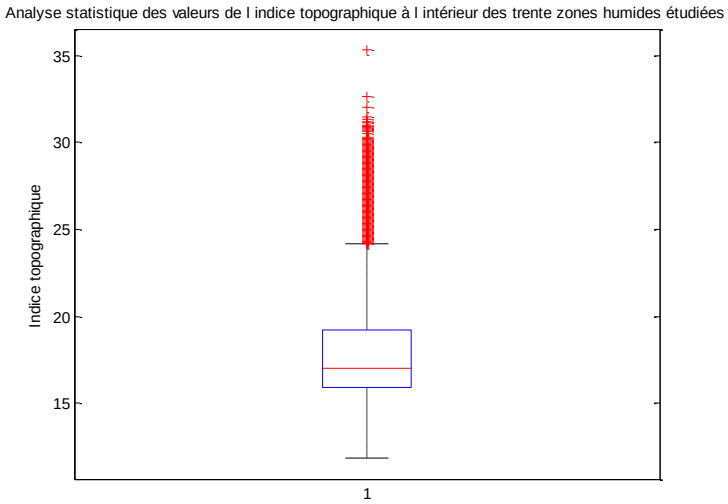


Figure 38 : « Boîte à moustaches », valeurs d'indice topographique relevées à l'intérieur des zones humides

- « Boîte à moustaches » pour les valeurs relevées dans les bassins versants :

Médiane	15,0404
Quartile Q1	13,7904
Quartile Q3	16,4405
Extrémité inférieure	9,8532
Extrémité supérieure	20,4155
Maximum	35,3457
Minimum	9,4535
Nombre de points	3402203
Nombre fini d'Outliers	136093

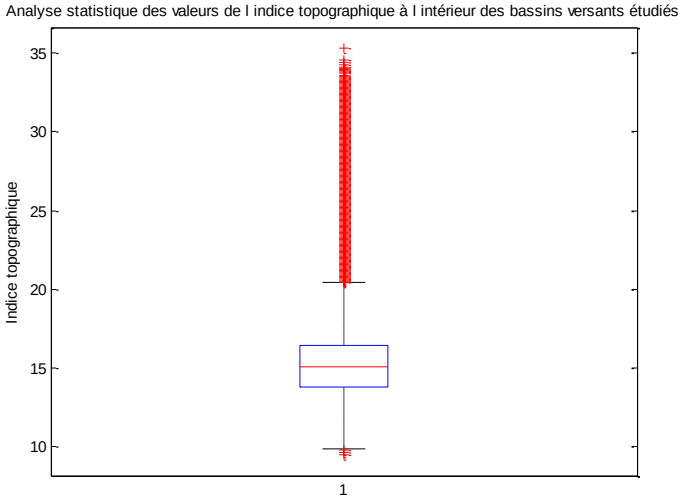


Figure 39 : « Boîte à moustaches », valeurs d'indice topographique relevées à l'intérieur de l'ensemble des bassins versants

Grâce à l'établissement de ces valeurs nous choisirons de fixer les valeurs seuils de l'indice topographique pour le filtre de 15,9 à 19,2. Ainsi, on évitera le pic des valeurs retrouvées dans l'ensemble du bassin versant, ainsi que les valeurs d'indice topographique correspondant au fond des cours d'eau (non recherchés dans cette étude).

➢ Résumé :

Filtrage après l'étude statistique avancée :

Indicateurs	Valeurs retenues
Carte de potentiel de production du ruissellement	2 - 3
Carte de potentiel de transfert du ruissellement	0 - 2
Carte de potentiel d'accumulation du ruissellement	2 - 3
Carte des pentes	inférieur à 4%
Carte de l'indice topographique	15.9- 19.2

Figure 40 : Tableau récapitulatif des valeurs d'indices retenus par la méthode statistique

- **Vérification de la pertinence de ces critères et limites de la méthode statistique avancée :**

Un deuxième filtre réalisé en croisant les niveaux de potentiel de production du ruissellement de 2 et 3, de transfert du ruissellement de 0 à 2, d'accumulation du ruissellement de 2 et 3, des valeurs de pentes inférieures à 4% et des valeurs de l'indice topographique comprises entre 15.9 et 19.2, est réappliqué au bassin versant test. Les résultats sont représentés dans la figure suivante.

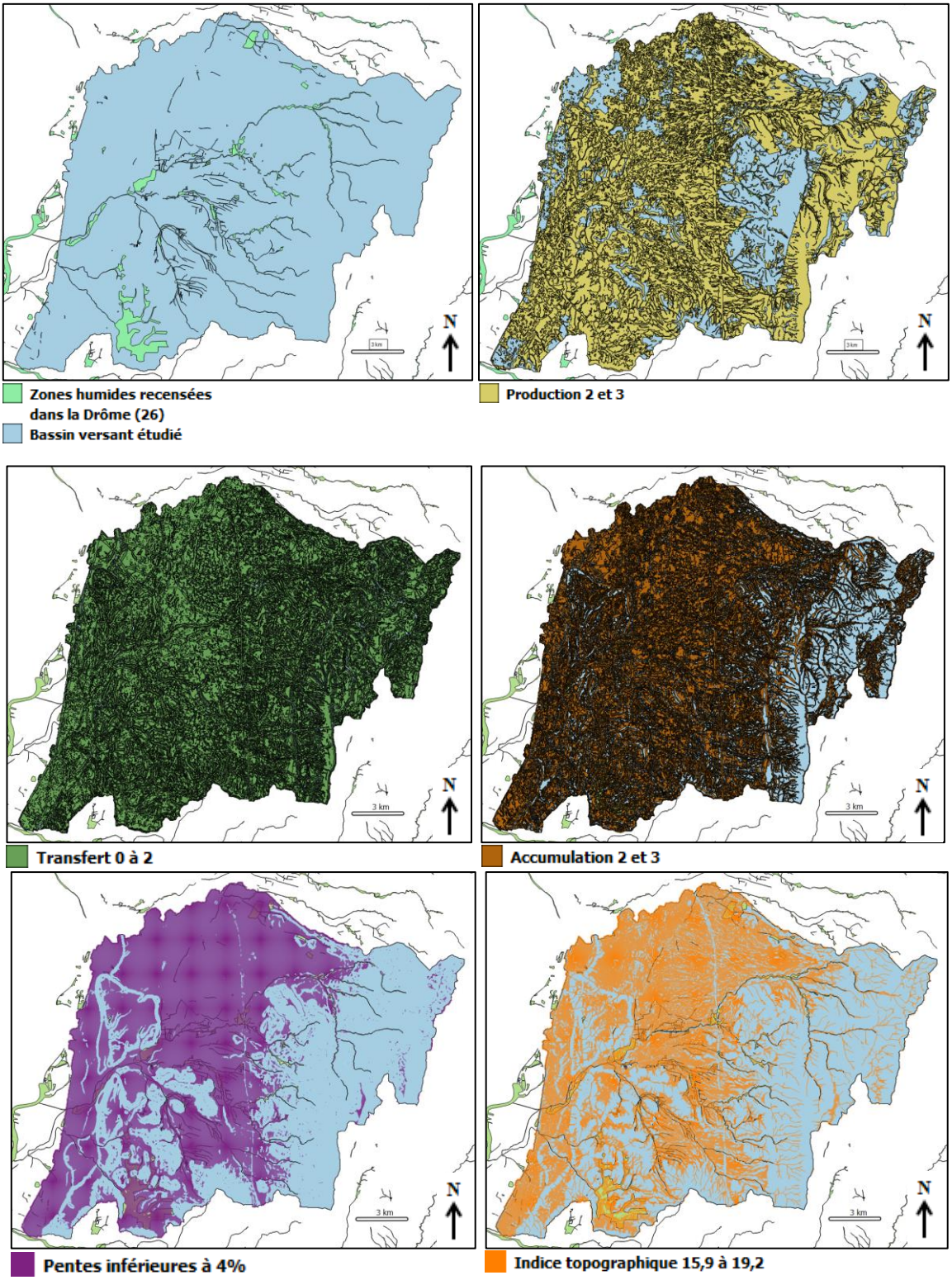


Figure 41 : Ensemble du jeu d'indicateurs après filtrage sur une zone test non encore utilisée pour l'étude statistique

L'intersection de ces cinq cartes correspond au résultat de notre étude. Celui-ci est donnée en figure 42.

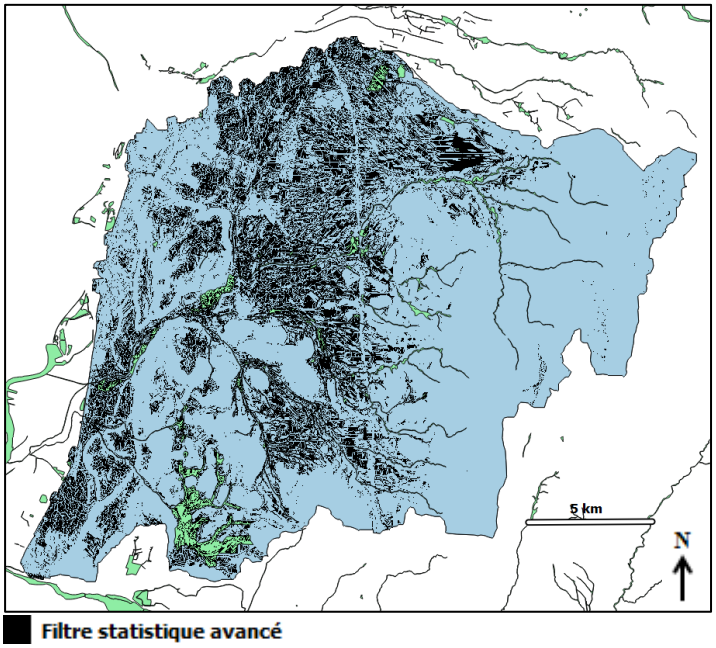


Figure 42 : Filtre issu de l'étude statistique avancée

On note d'une part que les zones humides (en vert-clair) sont toujours en grande partie comprises dans la couche de croisement des critères. On remarque aussi que le reste de la surface retenue et qui n'est pas répertoriée comme zone humide a été diminuée mais reste tout de même importante (cf. Tableau 4).

Calcul des surfaces recouvertes par le filtre élaboré							
Surface du bassin versant test	=	366 787 966	m²				
Surface couverte par les zones humides contenues dans le bassin versant test	=	11 829 454	m²	soit	3,2	%	du bassin versant test
Surface couverte par les zones humides non rivulaires contenues dans le bassin versant test	=	8 658 959	m²	soit	2,4	%	du bassin versant test
Filtre (pente < 4% ; indice topographique entre 15.9 et 19.2 ; production 2 et 3 ; transfert 0 à 2 ; accumulation 2 et 3)							
Surface couverte par le filtre	=	78 268 787	m²	soit	21,3	%	du bassin versant test
Surface couverte par les zones humides comprises dans le filtre	=	3 966 945	m²	soit	33,5	%	des zones humides du bassin versant
				et	5	%	du filtre
Surface couverte par les zones humides non rivulaires comprises dans le filtre	=	2 793 685	m²	soit	32,2	%	des zones humides non rivulaires du bassin versant test
				et	3,5	%	du filtre
Surface couverte par les zones humides comprenant au moins 1 pixel du filtre	=	11 494 018	m²	soit	97,1	%	des zones humides du bassin versant test
				et	14,7	%	du filtre

Tableau 4 : Calcul des surfaces recouvertes par le filtre statistique avancé

On remarque d'autre part que le filtre semble majoritairement influencé par les facteurs de pente et d'indice topographique. De plus, l'étude des cartes constitutives du filtre permet de constater que l'indicateur de potentiel de transfert du ruissellement n'est finalement pas discriminant. En effet, une analyse plus poussée de l'influence des facteurs utilisés pour la construction des indicateurs de production, de transfert et d'accumulation du ruissellement va nous permettre de mieux comprendre le rôle et l'importance de ces facteurs mis en jeu dans la détection de zones favorables au développement de zones humides.

Afin d'évaluer la pertinence des indicateurs et facteurs utilisés pour la construction du filtre, les mêmes relevés et étude statistique seront réalisés sur l'ensemble des grands bassins versants auxquels a été appliquée la méthode IRIP. Cette comparaison permettra de mettre en évidences les différences des valeurs observées dans des zones humides et des zones non répertoriées comme tel.

Les valeurs des indicateurs ont d'abord été relevées sur l'ensemble des bassins versants, puis sur ces mêmes bassins privés des trente zones humides de l'étude. Les zones humides ne représentant que de très petites surfaces comparées aux bassins versants, les graphiques de valeurs élaborés dans ces deux cas sont sensiblement les mêmes (cf. figure 43 : exemple de l'indicateur de potentialité de production du ruissellement. Les graphes obtenus pour les autres indicateurs et facteurs présentent des conclusions semblables).

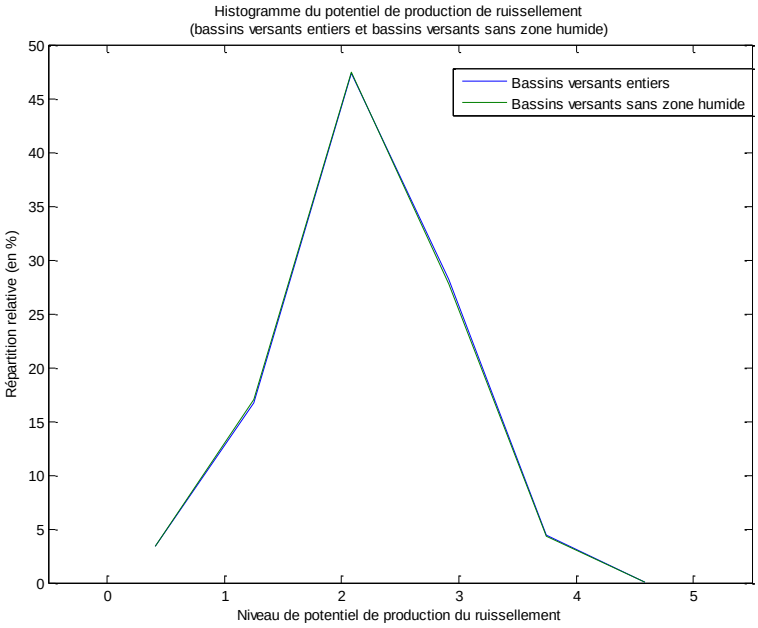


Figure 43 : Exemple de comparaison des histogrammes relatifs des niveaux de potentiel de production du ruissellement pour des valeurs relevées sur l'ensemble des bassins versants et sur ces mêmes bassins privés des trentes zones humides

Pour plus de simplicité, dans la suite on prendra en compte les valeurs prises sur l'ensemble des bassins versants. En effet, le fait de considérer les surfaces des bassins versants privés des trente zones humides recensées serait oublier la présence des autres zones humides recensées ainsi que celle des zones potentiellement humides non répertoriées dans le grand bassin versant.

➢ <u>Production du ruissellement :</u>

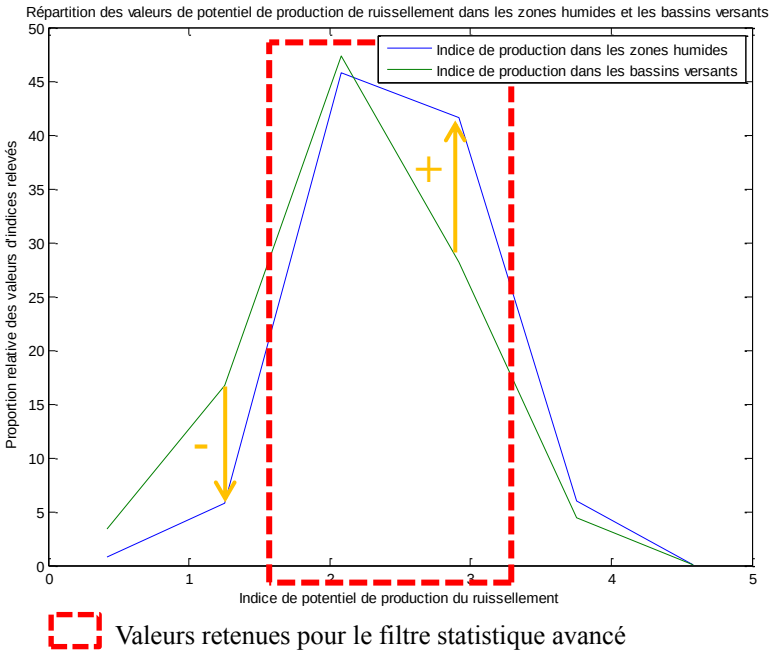


Figure 44 : Comparaison de la répartition relative des valeurs d'indice de production du ruissellement à l'intérieur des zones humides et à l'intérieur de l'ensemble des bassins versants

Dans le cas de l'indicateur de potentiel de production du ruissellement, sur les deux valeurs retenues, seule la valeur 3 semble discriminante. Aussi, l'exclusion de la valeur 1 permet de se défaire d'une partie importante de pixels.

Cet indicateur de potentiel de production semble donc être un bon critère à prendre en compte dans la détermination de l'emplacement des zones potentiellement humides. En effet, il est calculé à partir des facteurs de pente (discriminant comme nous avons pu le voir précédemment), d'indice topographique (discriminant comme nous avons pu également le voir précédemment), d'occupation des sols et de nature des sols. De plus, l'idée originale du projet est de prendre en compte les cartes de potentiel de ruissellement produites par iRIP afin d'en déduire les emplacements les plus favorables au développement de zones humides tout en captant une quantité d'eau de ruissellement significative. Cet indicateur ou les facteurs à partir desquels il est calculé seront donc conservés comme participant à la détection des zones recherchées.

➢ Transfert du ruissellement :

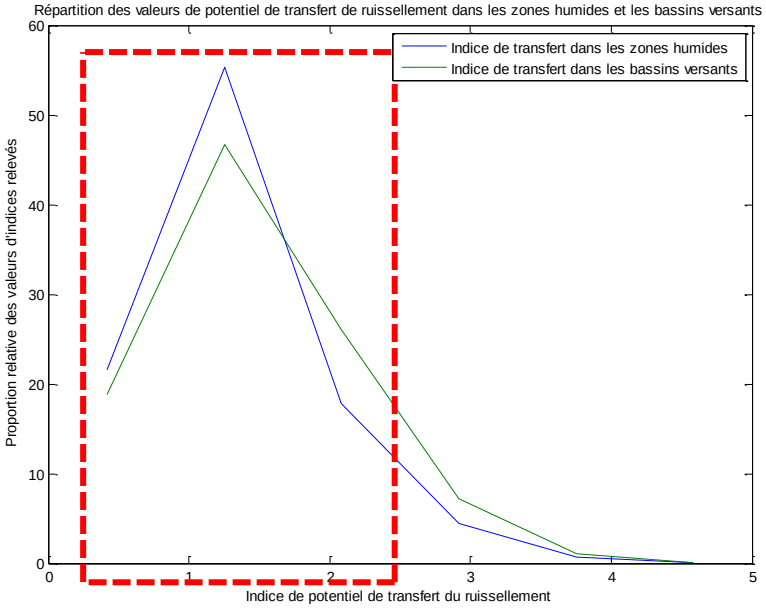


Figure 45 : Comparaison de la répartition relative des valeurs d'indice de transfert du ruissellement à l'intérieur des zones humides et à l'intérieur de l'ensemble des bassins versants

On remarque que les tendances observées sont les mêmes pour le relevé de valeurs effectué dans les zones humides et dans l'ensemble des bassins versants. Cet indicateur n'est donc pas discriminant dans la révélation des zones les plus propices au développement de zones humides.

On retrouve en effet le résultat obtenus lors du filtrage des valeurs de transfert du ruissellement comprises entre 0 et 2 représenté dans la figure 41. Seulement une très faible partie du bassin versant test a été exclue lors de ce filtrage.

➢ Accumulation du ruissellement :

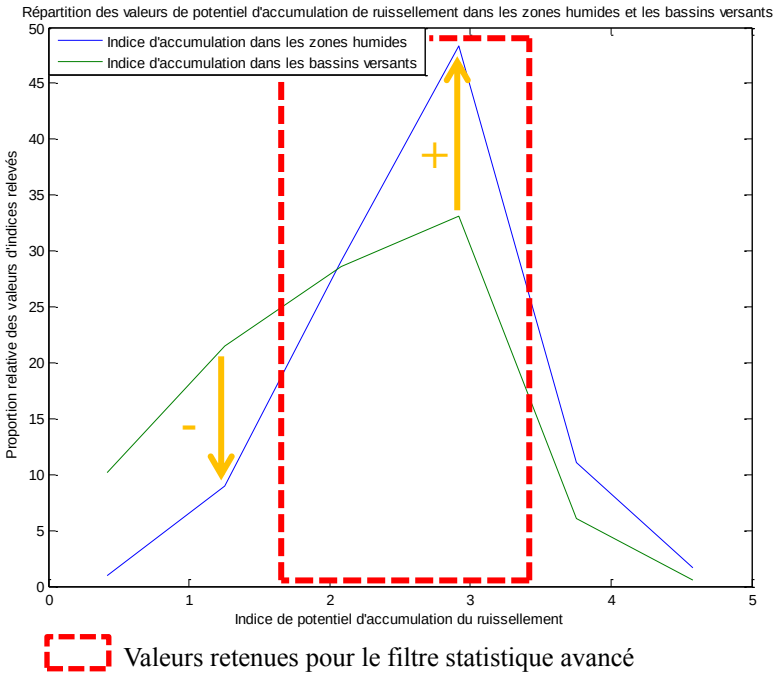


Figure 46 : Comparaison de la répartition relative des valeurs d'indice d'accumulation du ruissellement à l'intérieur des zones humides et à l'intérieur de l'ensemble des bassins versants

De même que dans le cas de la production du ruissellement, le choix de conserver dans le filtre la valeur 3 et d'en exclure la valeur 1 permet de rejeter une partie importante de la surface du bassin versant test, tout en gardant les zones les plus favorables au développement de zones humides.

Une fois encore, l'étude des facteurs utilisés pour l'élaboration de cet indicateur permet d'expliquer ce score caractéristique de 3 : une pente faible comme dans le cas de l'accumulation du ruissellement (1) ; un indice topographique fort (1) ; de faibles aires drainées (0) car les zones humides non rivulaires se retrouvent plutôt en tête de grands bassins versants, c'est-à-dire qu'elles drainent de faibles surfaces ; de fortes ruptures de pentes (1) et une production inférieure à 4 (0).

- **Synthèse et choix des facteurs :**

Comme nous l'avons vu précédemment, les cartes des pentes et de l'indice topographique rentrent en compte dans l'élaboration des indicateurs de production et d'accumulation du ruissellement. C'est pourquoi, par la suite nous avons choisi de ne travailler qu'avec les facteurs et non plus directement avec les indicateurs. En effet, cela donnerait à certains de ces facteurs plus de poids de mesure. En analysant l'aspect favorable ou non de ceux-ci dans l'étude des trente zones humides de l'échantillon statistique, il en résulte que les facteurs de pentes, d'indice topographique et d'occupation

du sol seront finalement retenus pour constituer la structure de la carte des zones potentiellement favorables au développement de zones humides. Cependant, une modification apportée dans la légende de cette occupation du sol est nécessaire. En effet, telle qu'elle a été éditée, cette légende est favorable au ruissellement. Or, nous cherchons de notre côté des sites favorables à l'implantation de zones humides. La nouvelle légende adaptée aux zones humides est donnée en annexe 5.

D'autres facteurs issus de l'analyse IRIP tels que les ruptures de pentes ou la valeur des aires drainées pourront aussi être envisagés pour affiner la méthode. Aussi, comme nous l'avons évoqué plus haut, trois autres facteurs pourront être employés dans la perspective d'une amélioration dans la précision de détection des zones potentiellement favorables au développement de zones humides : la carte géologique et les cartes pédologique et de risque de remontée de nappe combinées. En effet, pour ces deux derniers facteurs, on peut imaginer une zone humide installée sur un sol imperméable et alimentée par un apport d'eau de ruissellement dû à la topographie locale, ou bien à la présence d'un sol perméable mais soumis à des épisodes récurrents de remontée de nappe (ou parle alors d'alimentation en eau par la nappe) (Territ'Eau & Agro-Transfert Bretagne, 2009).

D'autre part, l'analyse du tableau 4 qui donne les résultats de l'étude de recouvrement des zones humides recensées par le filtre, révèle que seulement un tiers de la surface de ces zones humides, qu'elles soient rivulaires ou non, a été intégrée au filtre. Ainsi, pour améliorer ce chiffre, nous avons décidé de considérer cette fois toutes les valeurs d'indice topographique situées au-dessus de la valeur 15,9. Dans ce cas et avec seulement les trois facteurs indiqués ci-dessus, on obtient une nouvelle carte des sites potentiellement favorables au développement de zones humides dont les résultats de l'étude de recouvrement des zones humides recensées par ce dernier filtre sont donnés dans le tableau 5.

Calcul des surfaces recouvertes par le filtre élaboré							
Surface du bassin versant test	=	366 787 966	m²				
Surface couverte par les zones humides contenues dans le bassin versant test	=	11 829 454	m²	soit	3,2	%	du bassin versant test
Surface couverte par les zones humides non rivulaires contenues dans le bassin versant test	=	8 658 959	m²	soit	2,4	%	du bassin versant test
Filtre (pente < 4% ; indice topographique compris entre 15,9 et 19,2 ; occupation du sol avec légende adaptée aux zones humides)							
Surface couverte par le filtre	=	102 516 170	m²	soit	27,9	%	du bassin versant test
Surface couverte par les zones humides comprises dans le filtre	=	5 637 308	m²	soit et	47,7 5,5	% %	des zones humides du bassin versant du filtre

Surface couverte par les zones humides non rivulaires comprises dans le filtre	=	4 015 648	m²	soit	46,4	%	des zones humides non rivulaires du bassin versant test
				et	3,9	%	du filtre
Surface couverte par les zones humides comprenant au moins 1 pixel du filtre	=	11 541 343	m²	soit	97,6	%	des zones humides du bassin versant test
				et	11,3	%	du filtre
Filtre 2 (pente < 4% ; indice topographique > 15,9 ; occupation du sol avec légende adaptée aux zones humides)							
Surface couverte par le filtre	=	123 442 521	m²	soit	33,7	%	du bassin versant test
Surface couverte par les zones humides comprises dans le filtre	=	7 376 498	m²	soit	62,4	%	des zones humides du bassin versant test
				et	6,0	%	du filtre
Surface couverte par les zones humides non rivulaires comprises dans le filtre	=	8 286 411	m²	soit	95,7	%	des zones humides non rivulaires du bassin versant test
				et	6,7	%	du filtre
Surface couverte par les zones humides comprenant au moins 1 pixel du filtre	=	11 778 497	m²	soit	99,6	%	des zones humides du bassin versant test
				et	9,5	%	du filtre

Tableau 5 : Calcul des surfaces recouvertes par le dernier filtre élaboré

Le tableau précédent montre bien que ce dernier filtre est plus performant pour ce qui est de retrouver les zones humides recensées non rivulaires. De plus, la surface du bassin versant couverte par le filtre mais non recensée comme zones humides est rétrécie par rapport au filtre statistique avancé et au filtre construite à partir d'un indice topographique compris entre les valeurs 15,9 et 19,2.

Finalement, un résumé de la construction de la carte retenue à ce jour est donné en figure 47.

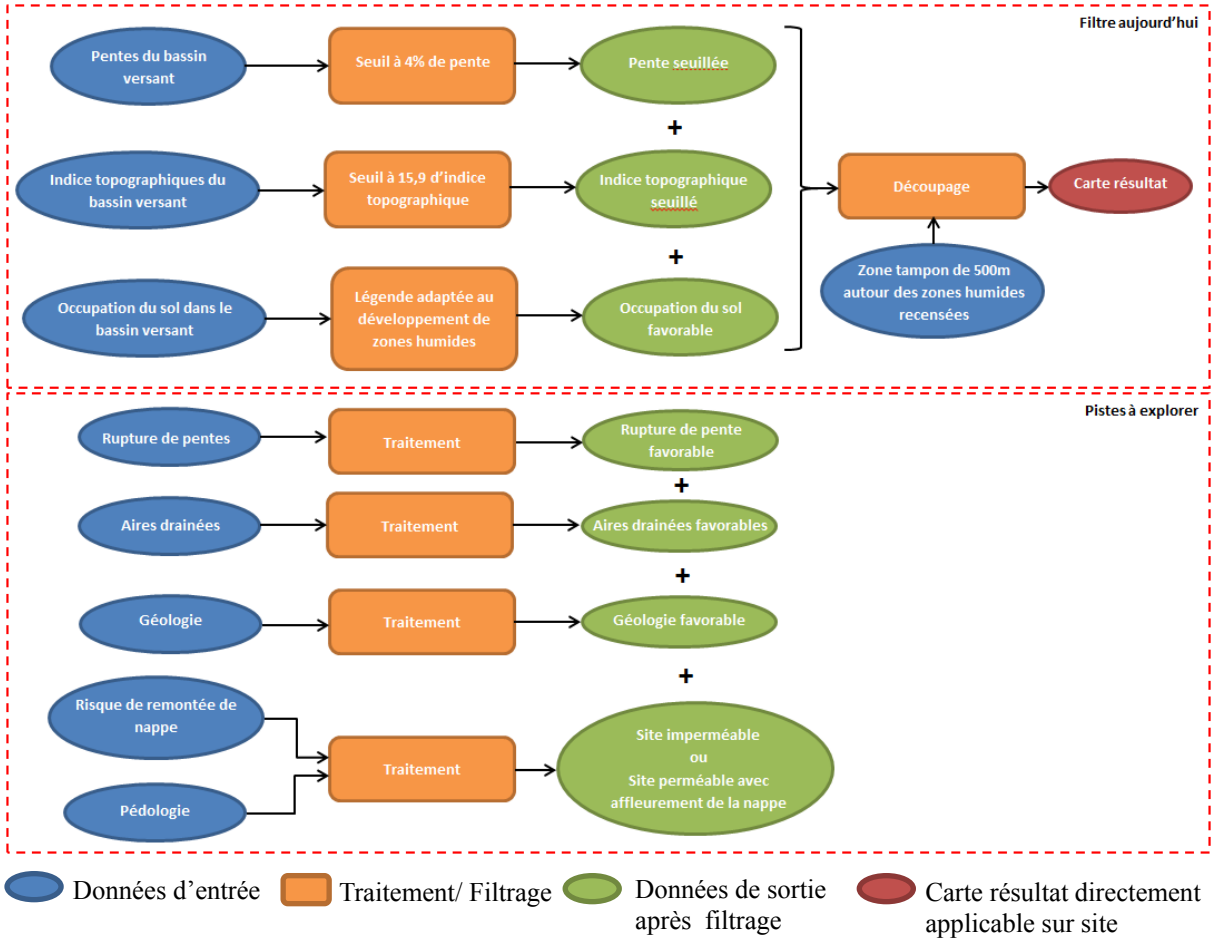


Figure 47 : Schéma simplifié expliquant les étapes de construction de la carte donnant les sites potentiellement favorables au développement de zones humides

4. Evaluation de la méthode par étude sur le terrain, sortie n°1

Après une première vérification par traitement géomatique, une visite sur terrain avec analyse du contexte géographique, de la végétation et la réalisation de tests à la tarière, nous a donc permis d'évaluer les résultats obtenus après utilisation du filtre développé en III-3.

Remarque : On rappelle qu'il s'agit d'appliquer un filtre conçu par croisement de critères sur des zones d'étude définies au III-2, afin de détecter des zones favorables à l'implantation de nouvelles et/ou à la restauration d'anciennes zones humides asséchées. A la date de la sortie terrain, seuls les critères de niveaux de potentiel de production, de transfert et d'accumulation du ruissellement ont été en partie traités.

- **PK 540.920-542.001 :**

Le premier site visité a la particularité de se situer dans une plaine agricole présentant de faibles variations du dénivelé, à proximité du cours d'eau le Roubion. Il se trouve également à quelques kilomètres d'un lieu-dit nommé le Grand Marais et d'une zone très fortement drainée, indicateurs de la présence potentielle d'une ancienne zone humide drainée.

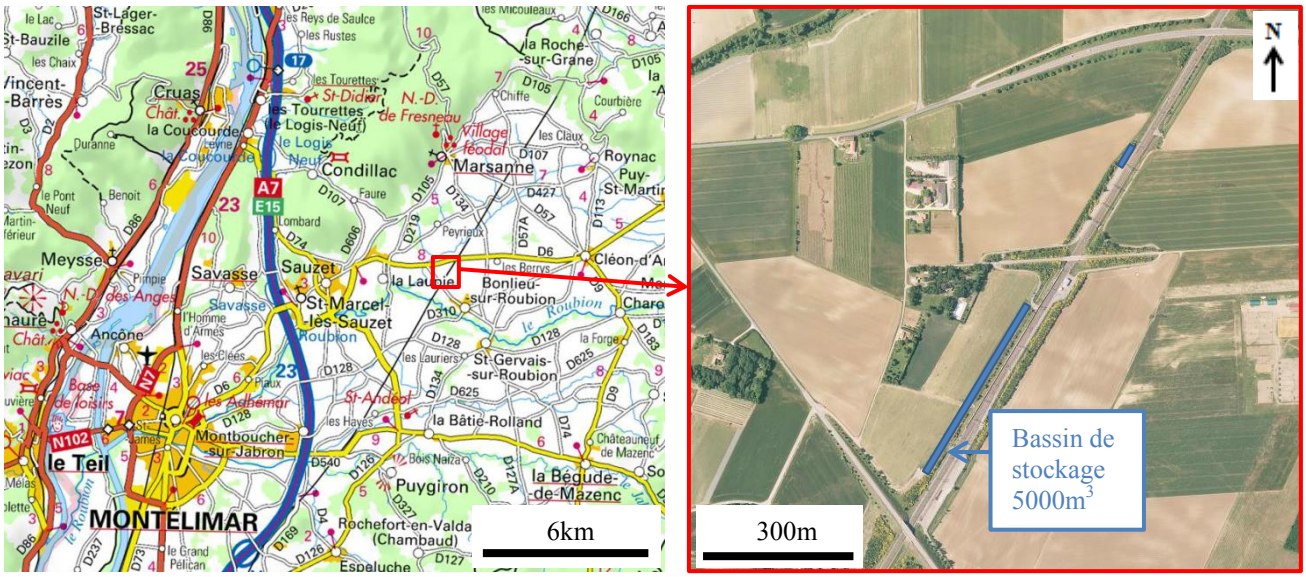


Figure 48 : PK 540.920-542.001, localisation et représentation des bassins de rétention

Une étude préalable du site par la méthode IRIP et une analyse par filtrage des indicateurs obtenus a permis de discerner des zones d'intérêt plus particulier. En effet, ces zones possèdent sur les trois cartes résultat d'iRIP, à chaque fois les valeurs retenues pour ces trois critères. L'étude n'étant pas suffisamment avancée lors de la sortie terrain, le filtre utilisé dans ce cas, n'est le résultat du croisement que de ces trois critères (cf. annexe 6).

Afin de prendre en compte la continuité écologique par rapport aux zones humides existantes, une zone tampon de 500m autour des zones humides déjà recensées est créée. Celle-ci est ensuite recoupée avec les données issues de la filtration des critères, ce qui permet de faire ressortir deux principales zones d'intérêt (cf. figure 49).

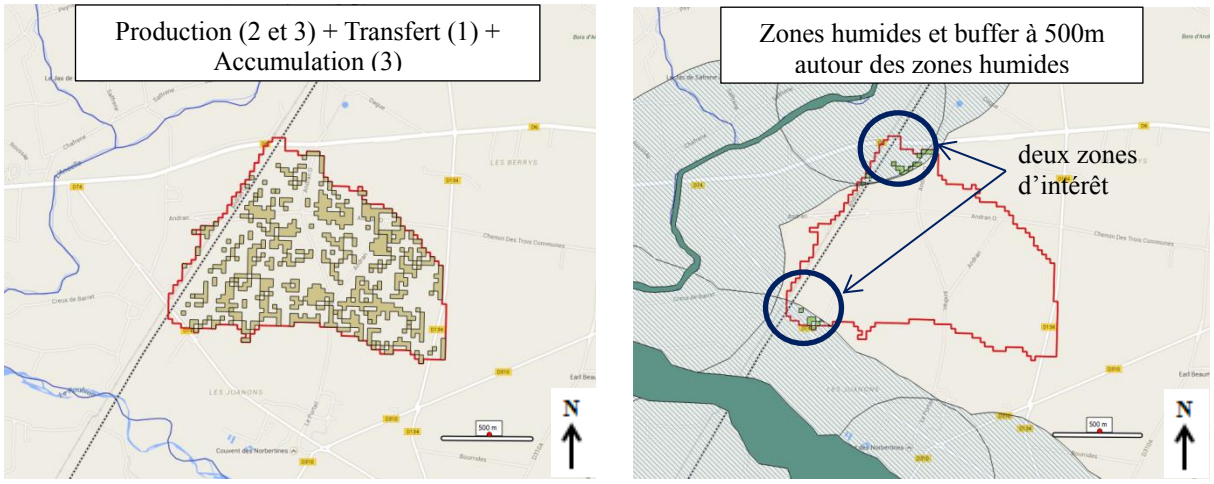


Figure 49 : Zones d'intérêt sur le site du PK 540 après filtrage et intersection des valeurs, puis après croisement avec le maillage des zones humides existantes

Lors de la visite du site, plusieurs indices nous ont fait comprendre que le terrain, contrairement à ce que la toponymie des alentours et les traitements géomatiques réalisés nous le laissaient croire, n'est finalement pas favorable à l'accueil de zones humides. En effet, les tests à la tarière ont révélé une terre aérée en surface et la présence de galets à moins d'un mètre de la surface du sol. Ces galets, répartis en couche uniforme, donnent ainsi une propriété très perméable et drainante au sol. D'autre part, la culture de poireaux observée sur le site nécessite une terre peu argileuse et non gorgée d'eau. Enfin, la rencontre avec des riverains nous a appris que même lors des forts épisodes pluvieux survenus dans la région en 2008 et qui étaient à l'origine de nombreuses inondations dans différents secteurs alentours, les deux zones étudiées sur ce site n'ont jamais fait l'objet d'aucun sinistre.

Figure 50 : Test à la tarière et culture de poireaux

Une analyse à postériori de la nature géologique des sols a permis de confirmer les observations faites sur le terrain (cf. figure 51). En effet, la carte fournie par le BRGM sur la géologie

des sols révèle la présence d'alluvions fluviatiles de taille plutôt grossière. Ceci permet de prendre conscience de l'importance de la nature du sous-sol, en plus de connaitre celle de la surface du sol.

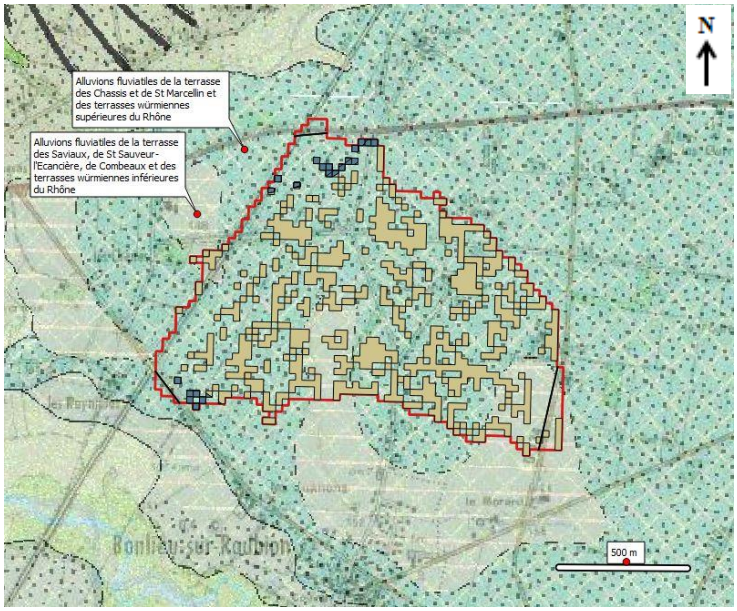


Figure 51 : Carte géologique de la zone (pk540), BRGM

Finalement, l'analyse d'une carte présentant les risques de remontée de nappe également développée par le BRGM, permet de mettre en évidence l'absence de nappe affleurant dans les deux zones étudiées (cf. figure 52).

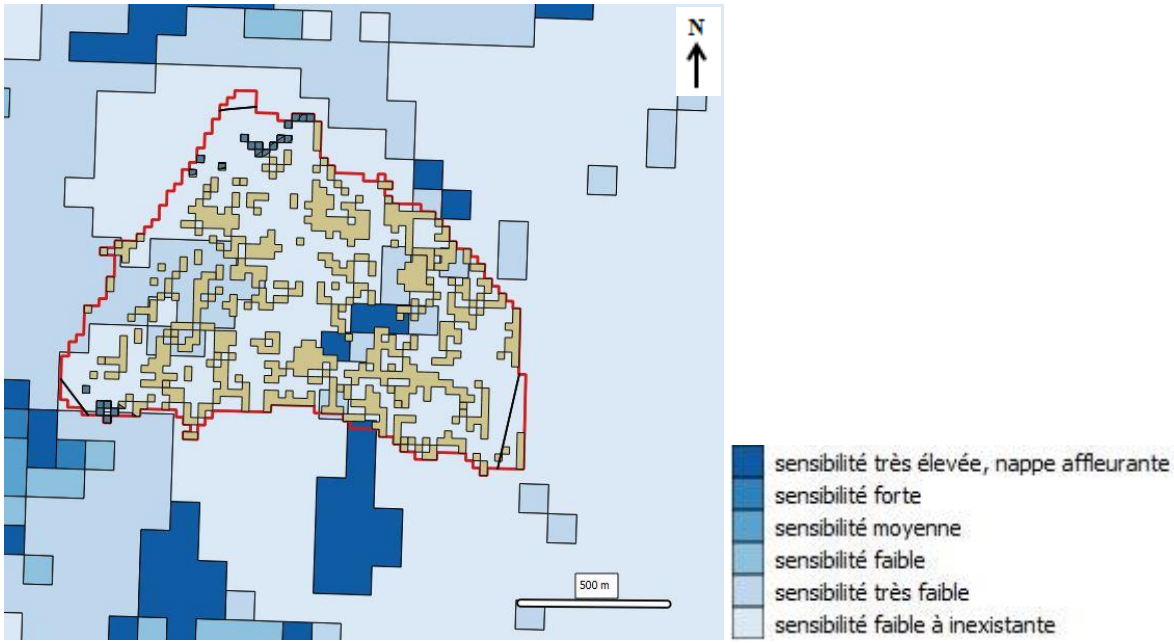


Figure 52 : Carte de sensibilité aux remontées de nappe (pk540), BRGM

Remarque : Comme nous l'avons dit en III-3, une forte sensibilité aux remontées de nappe peut être propice au développement d'une zone humide, bien que celle-ci ne soit pas nécessaire. En effet, même en cas d'absence de nappe affleurente, un sol imperméable judicieusement situé sur la trajectoire des écoulements peut aussi permettre le développement de zones humides. Cette carte prise seule n'est donc qu'informative et la forte sensibilité ou non aux remontées de nappe ne sera pas considérée comme un facteur discriminant, du moins pas s'il est utilisé de manière isolée.

- **PK 508.534-511.000 :**

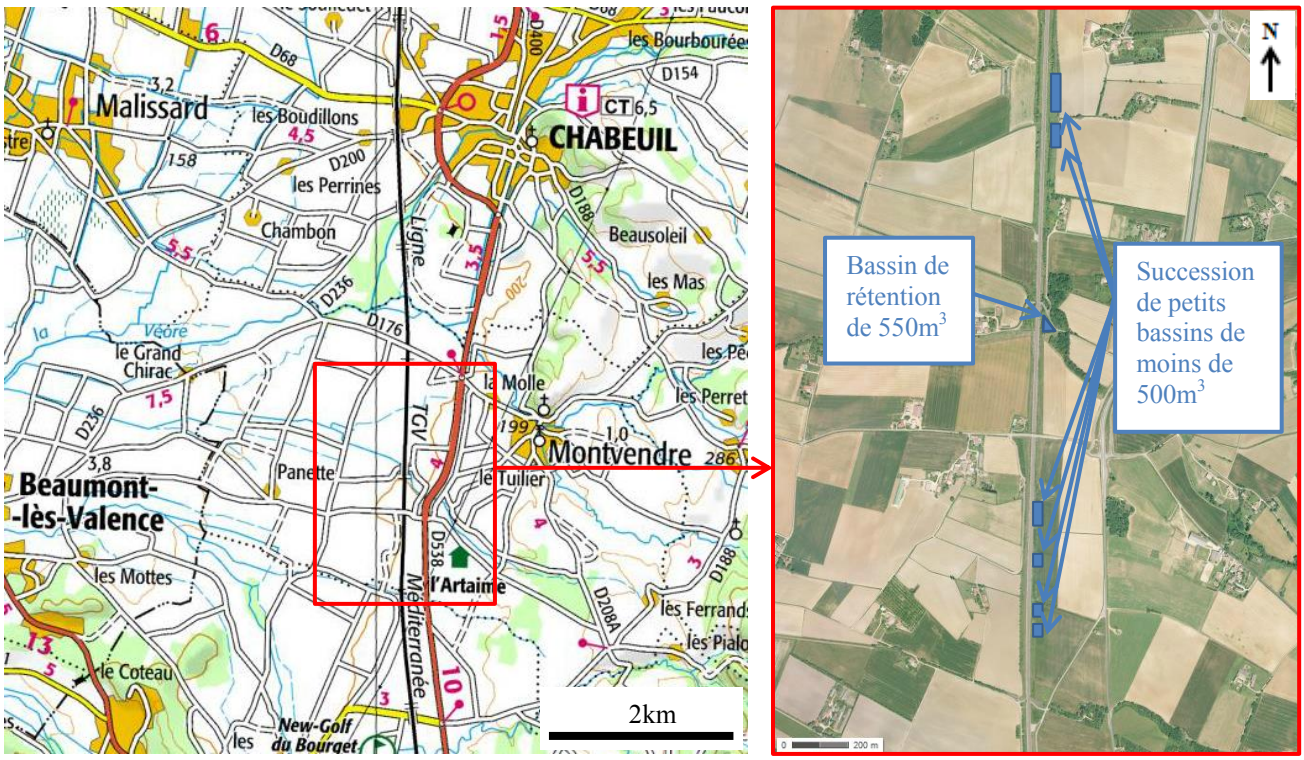


Figure 53 : PK 508.534-511.000

Le deuxième site visité se situe à proximité de la ville de Chabeuil, et est entouré de deux routes portant les noms de « Route des marais » et « Route du palud ». Sur le tronçon de voie SNCF étudié ici, plusieurs ouvrages ont été créés et mis en série dans la continuité des fossés drainant la voie. Cette fois, il est à noter que les bassins se trouvent à l'amont des voies, contrairement à la majorité des ouvrages qui se trouvent d'ordinaire à l'aval. Ainsi, une partie de l'eau de drainage des voies est récoltée dans ces bassins, de même qu'une partie des eaux de drainage des champs situés à l'amont et les eaux de ruissellement amont.

Le traitement géomatique a permis de mettre en évidence une concentration de pixels filtrés le long de cette voie, dans la même zone que celle où se situent déjà les bassins de rétention de la SNCF

(cf. annexe 5 et figure 54). De plus, l'analyse de la carte des zones humides recensées met en évidence la forte présence de ces zones dans le secteur, ce qui permet de penser que la nature du sol y est particulièrement adaptée au développement des zones humides.

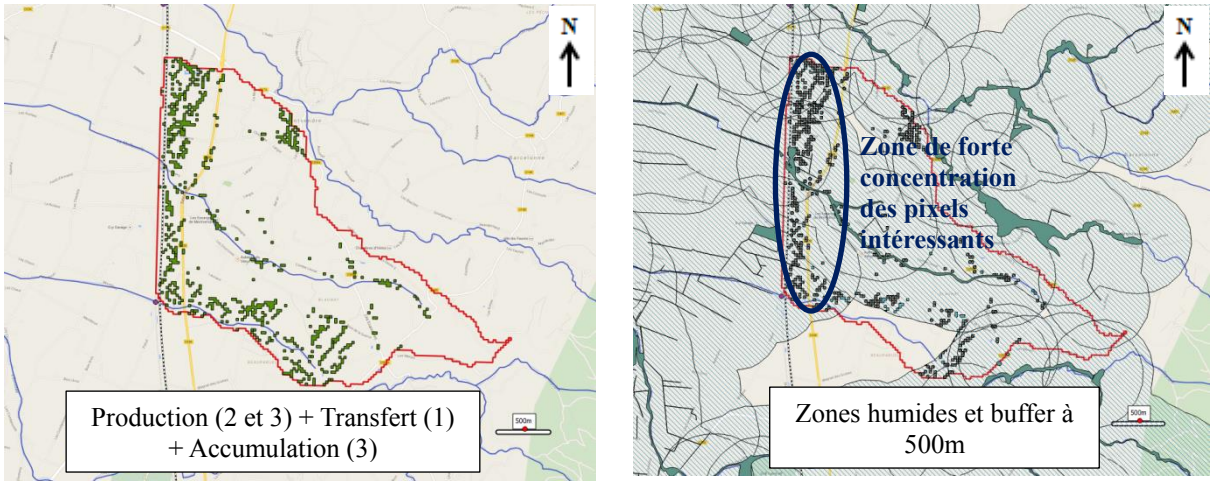


Figure 54 : Zones d'intérêt sur le site du PK 508 après filtrage et croisement avec le maillage des zones humides existantes

Une fois sur le terrain, dans la limite sud du bassin versant aux abords de la voie, on constate la présence d'une zone humide non recensées autour du cours d'eau. Elle est le résultat de l'étalement de ce dernier dans une zone d'élargissement plus plate. Il s'agit donc là d'une zone humide née du débordement du cours d'eau, type non recherché ici. Cependant, sa présence permet déjà de confirmer la qualité du sol par rapport à notre problématique (cf. figure 55).

Figure 55 : Zone humide née du débordement d'un cours d'eau

Plus tard, la remontée le long de la voie vers les bassins de rétention des eaux de drainage de la voie et des champs amont nous montre l'établissement de deux nouvelles zones humides à l'intérieur

même des bassins. En effet, on remarque un écoulement faible mais permanent en sortie de bassin qui permet d'alimenter la zone humide (cf. figure 56).

Figure 56 : Zone humide développée dans un des bassins de rétention

Ce type de résultat correspond tout à fait ce qui est attendu à l'aboutissement de ce projet.

Plus loin, la présence d'une zone humide en bordure du talus, mais hors emprise SNCF révèle également la convergence de flux de ruissellement et la présence d'un sol adapté. Un test à la tarière et une prise de hauteur permet de se rendre compte de ces deux critères (cf. figure 57).

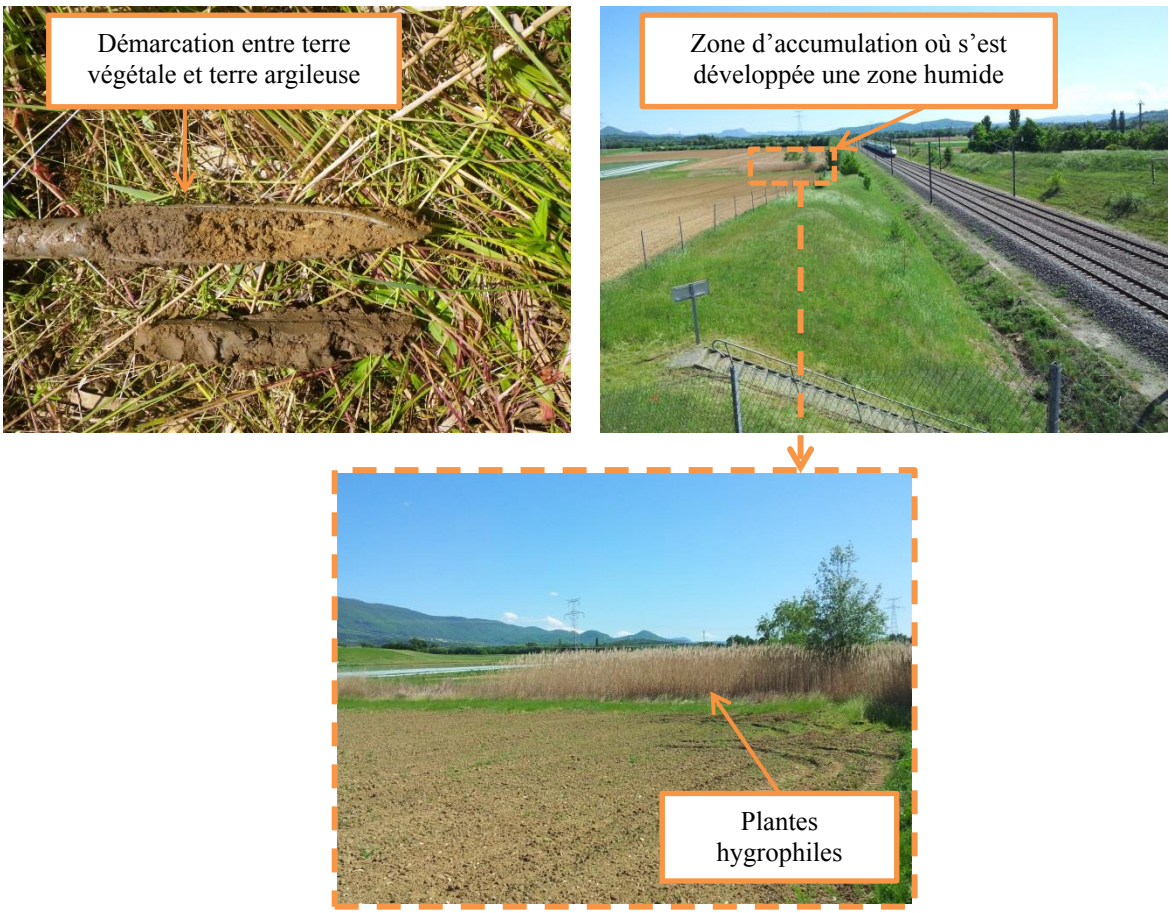


Figure 57 : Zone humide développée en bordure de l'emprise SNCF, dans un point d'accumulation des eaux de ruissellement, sur un sol hydromorphe

Une analyse de la carte géologique permet à nouveau de confirmer les observations faites sur le terrain. On y trouve la présence de sols de type fluvio-glaciaire ou issus de cônes de déjection, présentant des grains plutôt fins (cf. figure 58).

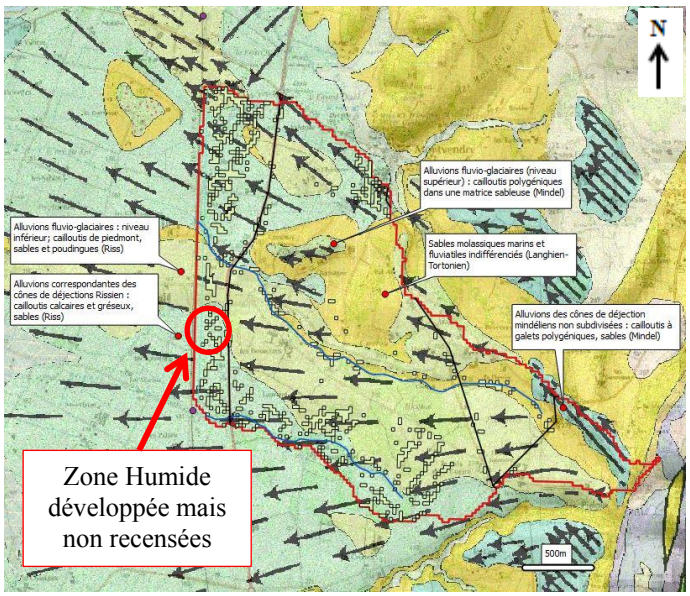


Figure 58 : Carte géologique de la zone (pk508), BRGM

Finalement, on remarque que la carte des risques de remontée de nappe fait ressortir une sensibilité assez élevée à proximité de cette zone humide découverte (cf. figure 59).

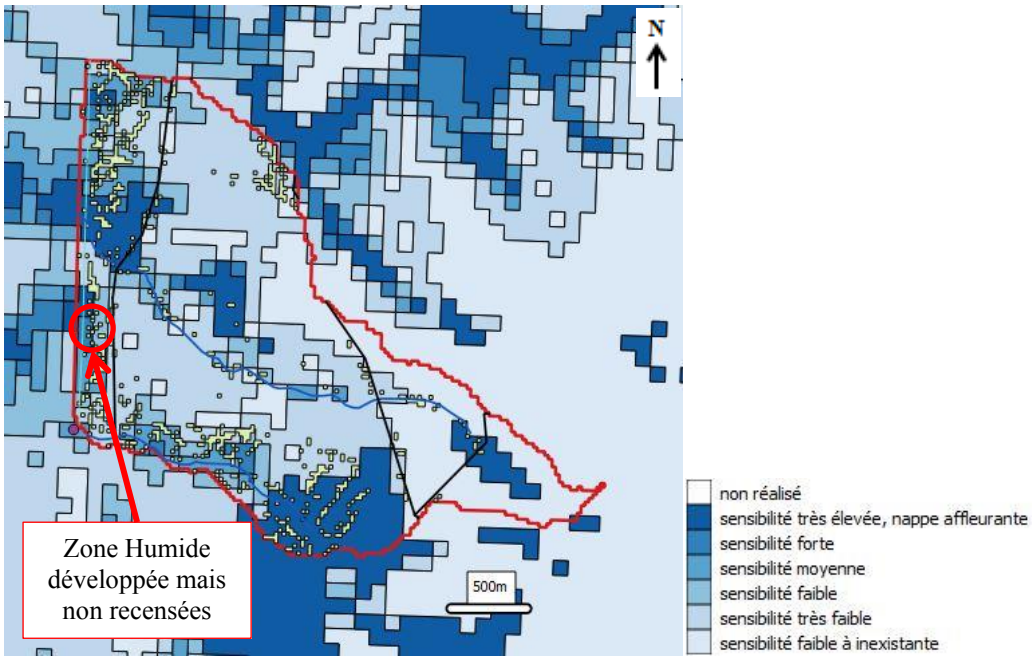


Figure 59 : Carte de sensibilité aux remontées de nappe (pk508), BRGM

- **Bilan de sortie :**

La conclusion de cette sortie est que le filtre permet bien de déterminer des espaces potentiellement intéressants pour la mise en place et le développement de zone humides mais pas seulement. Certains critères doivent donc encore être ajoutés, comme la nature géologique du sol, pour affiner encore le traitement. Cette conclusion confirme celle déduite de la vérification par traitement SIG.

5. Evaluation par étude sur le terrain, sortie n°2

Une étude plus approfondie du site de Montvendre (deuxième site de la sortie terrain précédente), et de ces bassins de rétention devenus des zones humides a été menée. Elle nous a permis d'obtenir le bassin versant directement associé aux bassins de rétention (cf. figure 60). L'objectif ici est de déterminer l'importance de la zone contributive à l'alimentation en eau des zones humides détectées et non répertoriées dans l'atlas des zones humides de la Drôme.

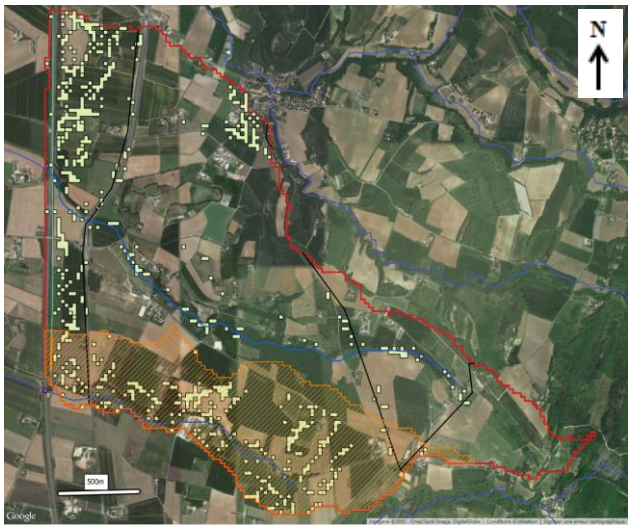


Figure 60 : Bassin versant associé aux bassins de rétention transformés en zones humides (Montvendre, 26)

Le bassin versant tracé est bien trop grand par rapport à la superficie annoncée par la SNCF. En effet, lorsque l'on regarde le réseau de drainage, on s'aperçoit que le réseau donné par iRIP ne correspond pas au réseau hydraulique fourni par l'IGN actuellement en place (cf. figure 61-a). Le cours d'eau a très probablement été dévié dans le passé afin d'épargner les champs de culture.

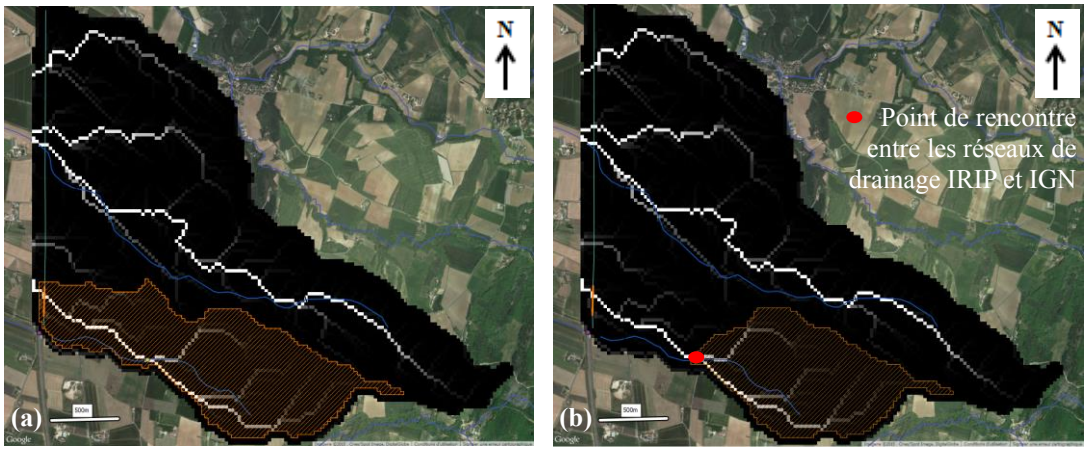


Figure 61 : Représentation du réseau de drainage associé au tronçon de voie SNCF aux alentours du PK508

Pour trouver le véritable bassin versant associé aux bassins de rétention, nous avons considéré que les eaux de ruissellement tombées sur la partie amont du bassin initialement tracé par iRIP devaient être redirigées dans le cours d'eau au point d'intersection de ces deux réseaux (cf. figure 61-b).

Une fois cette partie amont du bassin versant retirée, on trouve un bassin versant participant réellement à l'alimentation en eau des bassins de rétention d'une surface de 47ha (contre 36ha donné par la documentation de la SNCF). La figure 62 donne ce bassin versant.

Figure 62 : bassin versant associé aux bassins de rétention de la SNCF

La visite sur terrain a permis de confirmer ce tracé (cf. figure 63).

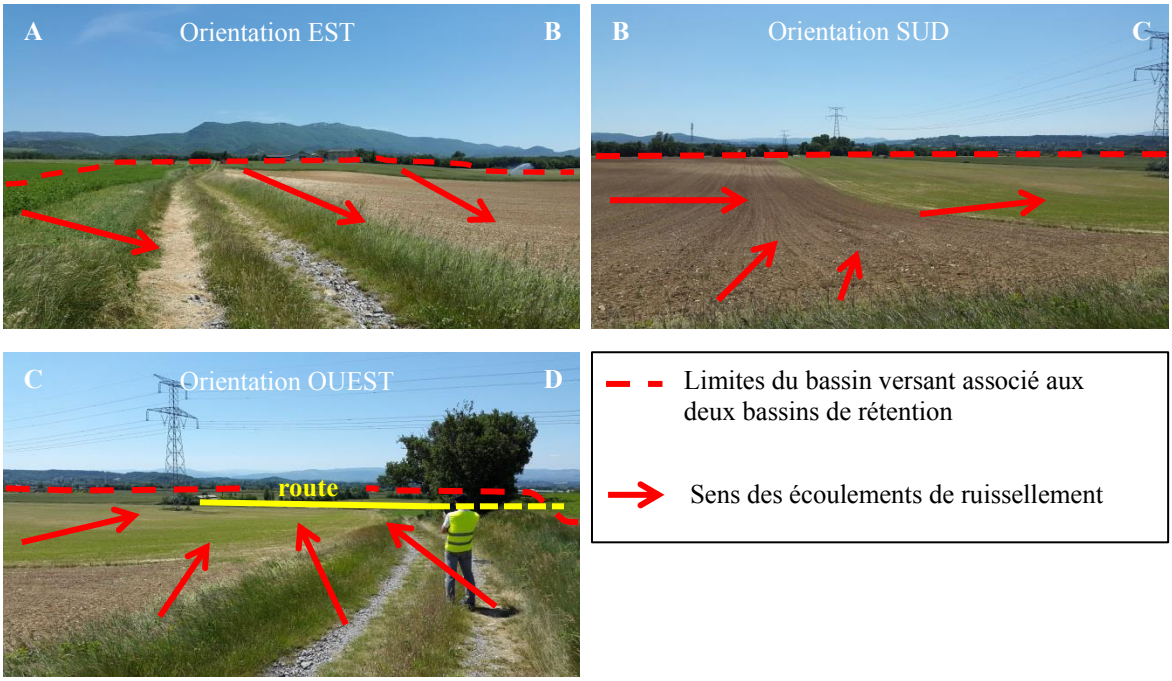


Figure 63 : Visualisation sur le terrain des limites du bassin versant associé aux bassins de rétention

La topographie du terrain semble bien correspondre aux limites du bassin versant obtenues par iRIP (après enlèvement de la partie amont). Cependant, la présence d'une route en parallèle et à l'amont de la voie ferrée stoppe les écoulements diffus de ruissellement. Un fossé concentre alors les eaux de ruissellement et de drainage du champ visualisé sur les photos précédentes. L'eau est ensuite conduite vers l'aval par un passage busé sous la route avant de rejoindre le réseau de drainage, directement conduit jusqu'au pied de la voie et envoyé à nouveau par busage vers l'aval du bassin versant. Cette eau ne contribuera donc pas à alimenter les bassins de rétention.

La même méthode a été également appliquée, non plus à un tronçon linéaire de voie ferrée mais à la zone humide hors emprise SNCF découverte lors de la dernière sortie. Une fois encore, on remarque que l'aire de drainage de la zone humide est relativement petite (cf. figure 64).

Remarque : Le bassin versant associé à la zone humide donné en figure 64 correspond au bassin versant tracé par iRIP modifié en tenant compte du réseau de drainage de la route situé en amont de la zone humide.

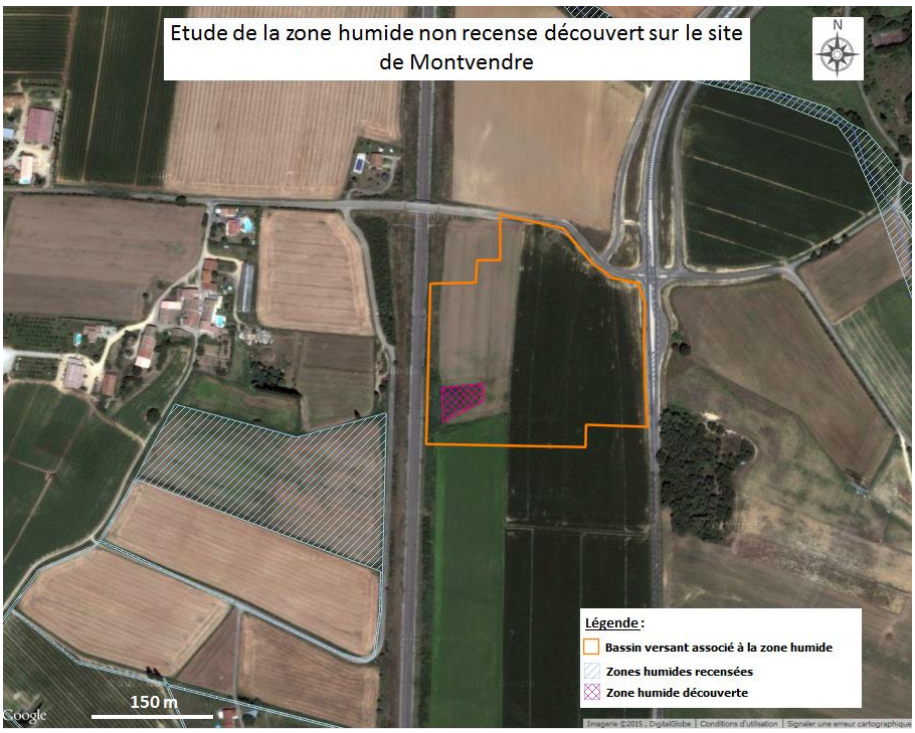


Figure 64 : Représentation du bassin versant associé à la zone humide non répertoriée modifié après avoir pris en compte le réseau de drainage de la route

Remarque : Un mois après la découverte de la zone humide naturelle hors emprise SNCF, celle-ci a été fauchée. Des marques de la présence de l'eau étaient cependant encore présentes sur le site.

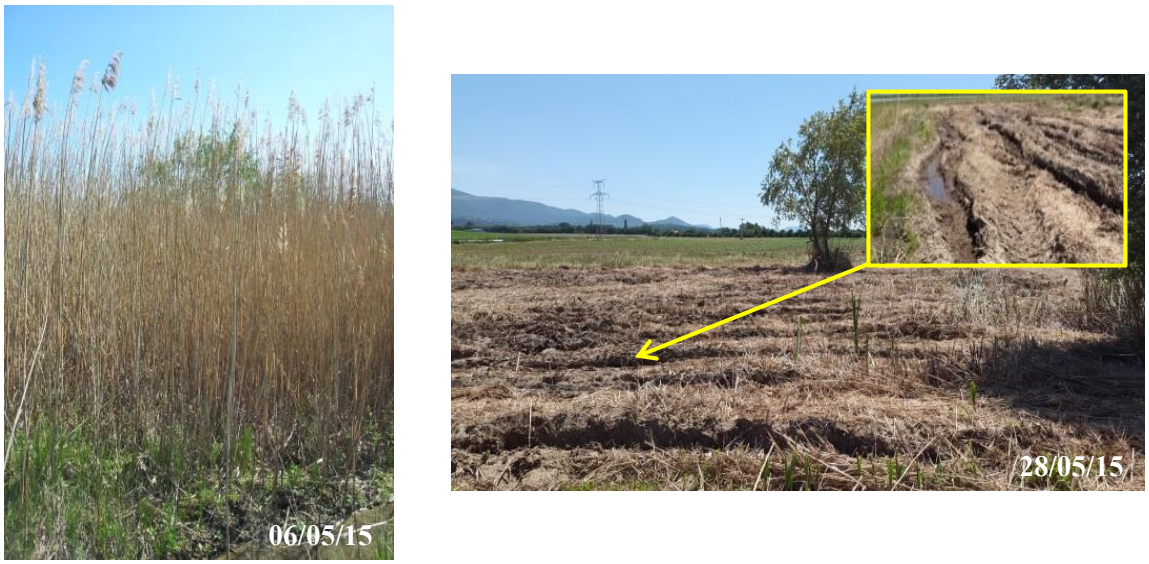


Figure 65 : Zone humide avant et après fauchage

6. Méthodes de détection existantes et comparaison

Il existe principalement trois autres types de méthode de détection des zones humides déjà employées :

1- Etablissement des contours des zones humides lors de visites sur le terrain

2- Télédétection par l'utilisation de capteurs d'humidité du sol (en développement) ou par analyse d'images-satellites. Cette méthode permet de visualiser des plans d'eau par exemple situés dans des zones non accessibles sur le terrain. Cependant, il est parfois difficile, malgré les filtres optiques employés, de déterminer les limites exactes de ces plans d'eau pouvant se trouver en partie sous couvert-végétal. De plus, lorsque ce plan d'eau est recouvert d'algues, il peut être difficile de le distinguer des zones de forêt, (Syndicat du Pays de Beauce Gâtinais en Pithiverais).

3- Modélisation par croisement de données topographiques et pluviométriques. Il s'agit de la méthode employée pour réaliser la carte des zones potentiellement humides vue en III-2. Celle-ci est une méthode intéressante car elle utilise un nombre important de critères et tente d'allier les données sur le sol et la météorologie. Son inconvénient est qu'elle nécessite des calculs importants et nombreux.

Finalement, la méthode développée dans ce stage s'inscrit dans la logique de cette dernière catégorie en tentant de résoudre une problématique plus locale, sans données de pluie et en utilisant le nouvel outil : iRIP, mis à disposition durant ce stage. Une comparaison par traitement informatique permet de constater que l'on retrouve globalement le même type de zones. Cependant, certains points de désaccord se dessinent localement (cf. figure 66). On peut noter que dans la méthode employée par l'équipe de l'INRA de Rennes, l'occupation du sol par les villes n'est pas prise en compte alors que ce facteur est totalement discriminant dans notre cas. Pour le reste, des visites sur terrain permettraient de mieux comprendre laquelle de ces méthodes est la plus réaliste dans les cas relatifs au réseau linéaire de transport terrestre et les raisons de l'erreur révélée dans l'une ou l'autre des méthodes.

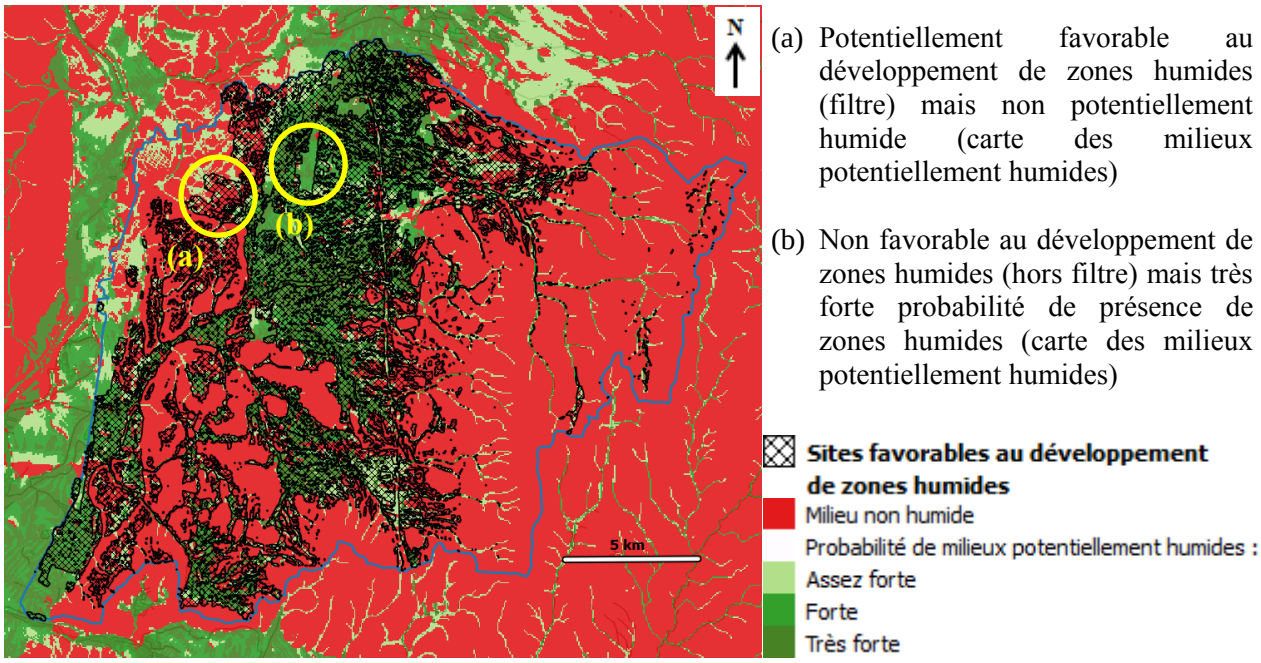


Figure 66 : Comparaison entre la carte résultat de la méthode et la carte des zones potentiellement humides (MEDDE, GIS Sol, 2014)

IV- Etape 2 : design de la zone humide

Une fois l'emplacement optimal déterminé, il faut alors réfléchir à une conception d'ouvrage qui alliera stockage des eaux de ruissellement interceptées et adaptation au développement du site en zone humide, c'est-à-dire au développement de la biodiversité.

1. Enjeux et perspectives

Les enjeux de la création de telles zones humides artificielles sont multiples. Le premier retenu ici est l'utilisation de sa capacité de stockage des eaux de ruissellement collectées. En effet, le but est d'arriver à créer ou restaurer une zone humide de telle façon qu'elle capte une quantité d'eau de ruissellement équivalente au volume de stockage perdu dans les bassin de rétention à cause du développement de végétation hygrophile dans ces mêmes bassins (cf. figure 67).

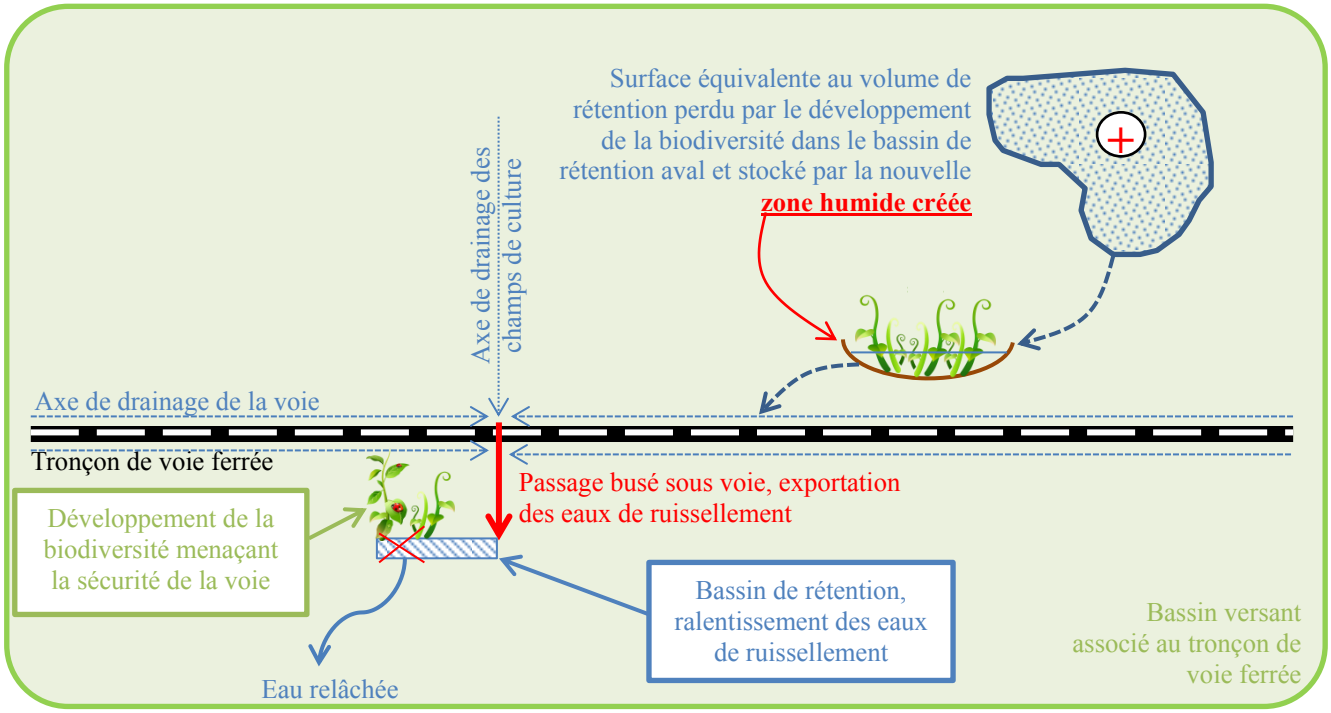


Figure 67 : Schéma simplifié du gain apporté par la construction d'une nouvelle zone humide sur la partie amont du bassin versant intercepté par la voie ferrée

Cependant, il ne faut pas oublier le potentiel des autres services pouvant être rendus par les zones humides. L'alliance des fonctions de stockage et de traitement des eaux de ruissellement et des eaux de drainage agricoles pourrait être envisagée. De même, certains aménagements pourraient être

mis en place pour développer des zones publiques, ludiques et éducatives (Agence de l'Eau RMC, 2000).

Enfin, comme le demande le cadre du projet ITTECOP, l'étude menée ici dans le cadre des linéaires ferroviaires pourra tout à fait être appliquée par la suite à d'autres réseaux linéaires comme les routes ou autoroutes. Il pourra également être envisagé de l'utiliser dans d'autres cas problématiques futurs de gestion de l'eau et de sa rétention au sein des territoires dans l'optique des changements climatiques en cours.

2. Exemple de zones humides artificielles

- **Water Sentitive Urban Design : Constructed Wetland, l'exemple australien**

Pour la conception de la zone humide de rétention des eaux de ruissellement, on pourra s'inspirer de cas similaires développés en Australie pour la rétention et l'amélioration de la qualité des eaux de pluie urbaines (Melbourne Water, 2005).

- **Restauration de la zone humide du lac d'Aydat, Auvergne**

Dans les années 1970-1980, la zone humide se trouvant à l'entrée du lac d'Aydat (Auvergne) a été comblée pour exploiter la surface qu'elle représentait à des fins ludiques (construction d'un complexe sportif). Au début des années 2000, les spécialistes se sont rendu compte de l'eutrophisation du lac qui continuait de recevoir des eaux provenant de terres agricoles et chargée en nutriments, sans que celles-ci ne soient traitées par les plantes de la zone humide détruite.

Un vaste projet de restauration de cette zone humide a donc été développé jusqu'à donner aujourd'hui un site apte à remplir sa fonction de filtre naturel. Des aménagements ludiques et pédagogiques ont également été mis en place pour permettre aux visiteurs de découvrir ce milieu et les bénéfices qu'il procure depuis sa réhabilitation. (Mathevon, 2012)

- **Construction d'une zone tampon humide**

Une zone tampon humide est une zone humide qui va jouer le rôle de filtre, en particulier dans le domaine agricole. En effet, la zone humide est dimensionnée pour laisser le temps aux plantes présentes de traiter les eaux chargées en produits issus des terrains agricoles situés à l'amont. Un guide de conduite à tenir lors de la construction de ces zones tampons humides est présenté par l'équipe de

Julien TOURNEBIZE (Irstea) et paru en 2015, (TOURNEBIZE, CHAUMONT, MARCON, MOLINA, & BERTHAULT, 2015).

3. Quelques règles à respecter

Il existe tout de même quelques règles (non exhaustives) à respecter lors de la création d'une zone humide, et plus particulièrement dans le cas de la création d'une mare (GROSSI, 2010) :

- ne pas sacrifier un milieu déjà biologiquement intéressant pour creuser une mare
- pas encerclée d'arbres pour permettre à la lumière d'atteindre la surface de l'eau
- la sécurité, limitation des accès si présence d'enfants
- si la surface est supérieu re à de 20m², utilisation d'une pelle mécanique est conseillée, ainsi que l'export des déblais
- maximiser les contours, l'interface eau/terre est l'origine de la richesse biologique de ces milieux
- laisser une pente inférieure à 30° pour un moins une partie des berges, et modeler des pentes abruptes pour le reste pour permettre de limiter l'expansion des plantes sur les bords de la marre
- garder une profondeur inférieure à 2 m.

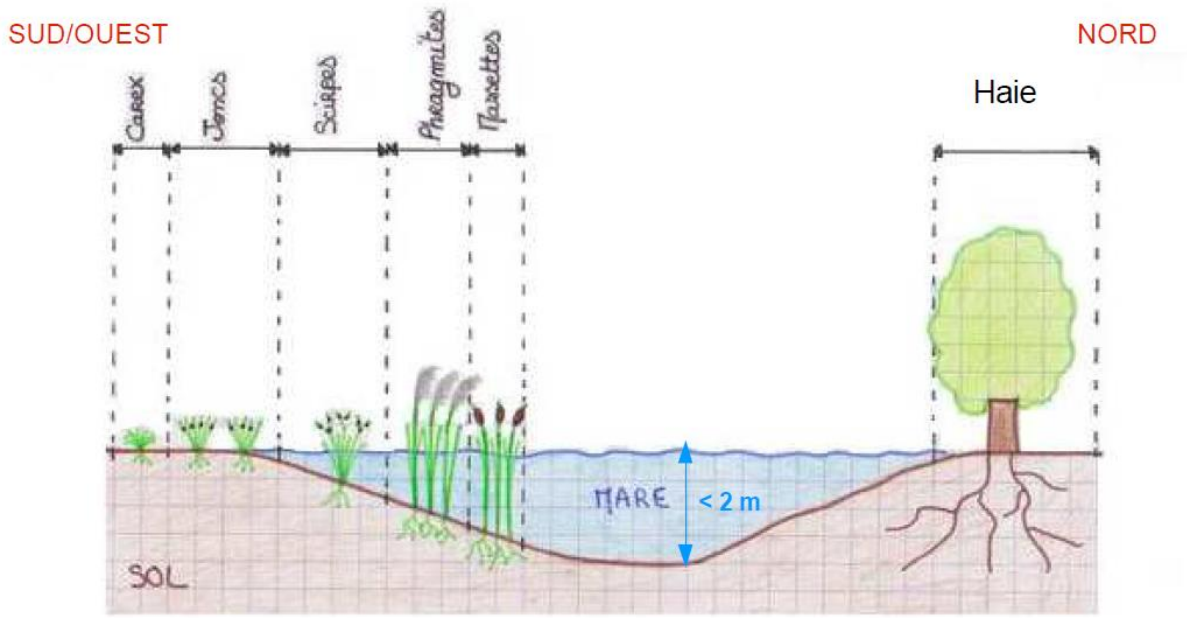


Figure 68 : Schéma donnant l'exemple du profil d'une mare, (MERCEY, 2013)

De plus, il faudra respecter certaines règles d'entretien de ces zones humides telles que :

- **éviter la turbidité de l'eau.** On évitera de placer des poissons qui pourraient remuer la vase de fond et on éloignera les troupeaux qui pourraient venir piétiner les bords de la mare.
- **limiter les intrants agricoles.** Mise en place de dispositifs enherbés (cf. II-7) autour de la mare. Une bande enherbée de 6m permet de diminuer de 60% les apports en ruissellements, de 85% ceux en matière en suspension et de 45% le taux de nitrates.

Conclusion

Le jour de mon arrivée à l'IRSTEA au début du mois de février, se tenait la deuxième réunion rassemblant les trois partenaires du projet. A l'issu de celle-ci, chacun des partis avait en tête sa propre vision du projet RIZHU. C'est à la suite d'une prise de connaissance de l'avis de chacun, d'une synthèse de toutes les idées évoquées et d'une première recherche bibliographique que j'ai pu établir un axe de travail pour aboutir aux résultats décrits dans ce rapport. Une étude des différentes caractéristiques, potentialités et contraintes liées aux zones humides m'a permis dans un second temps de mieux cerner l'intérêt et les potentialités de ce projet. Enfin, une fois la méthodologie de travail établie, les traitements longs mais encourageants des critères de filtrage m'ont donné à envisager un aboutissement intéressant à ce sujet de stage.

Bien que les critères de filtration doivent encore être perfectionnés pour améliorer la méthode, ce stage m'a donné l'occasion de mettre en avant une nouvelle alternative à la gestion des eaux de ruissellement tout en prenant en compte l'aspect primordial de la préservation de la biodiversité. Celle-ci, posant problème aujourd'hui au niveau sécuritaire pour la gestion des eaux de pluies le long des voies ferrées, pourraient ainsi devenir l'allier de demain pour assurer non seulement la sécurité sur les voies de chemin de fer, mais aussi sur les routes et pourquoi pas servir de site de stockage pour une gestion mieux intégrée des futures eaux d'irrigation agricoles.

La suite à donner à ce stage est donc tournée d'une part vers l'amélioration de ce filtre grâce à l'utilisation de données plus précises et d'autre part vers l'étude d'un cas particulier permettant le dimensionnement et la conception d'une possible zone humide à fonction de rétention hydraulique.

Abréviations

ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

CLC : Corine Land Cover, modèle européen de cartographie de l'occupation des sols

CNRS : Centre National de Recherche Scientifique

CORINE : COoRdination de l'INformation sur l'Environnement

CORPEN : Comité d'Orientation pour les Pratiques agricoles respectueuses de l'ENvironnement

CREN : Conservatoire d'Espaces Naturels de Rhône Alpes

IGN : Institut National de l'Information Géographique et Forestière

ILTe : Infrastructures Linéaires de Transport et leurs emprises

IRIP : Indicateur de Ruissellement Intense Pluvial

IRSTEA : Institut de Recherche en Sciences Techniques de l'Environnement et de l'Agriculture

ISARA : Institut Supérieur d'Agriculture et d'agroalimentaire Rhône Alpes

ITTECOP : Infrastructures de Transports Terrestres, ECOsystèmes et Paysages

LGV Med : Ligne Grande Vitesse Méditerranée

MEDDE : Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie

MNT : Modèle Numérique de Terrain

ONEMA : Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques

RDEAU : Réseau Départemental d'EAU de la FRAPNA Rhône

RIZHU : Ruissellement Intense & Zones HUmides

SIG : Système d'Information Géographique

SMU : Soil Mapping Unit

SNCF : Société Nationale des Chemins de Fer

ZTHA : Zone Tampon Humide Artificielle

Bibliographie

AFNOR. (2012). *NF X10-900.*

Agence de l'Eau RMC. (2000). *Charte pour les zones humides en Rhône Méditerranée Corse.*

Agences de l'Eau. (s.d.). *Guide technique interagences, Les zones humides et la ressource en eau, Fonctions des zones humides.*

ARNABOLDI, F., & ALBAN, N. (2006). *La Gestion des mares forestières de plaine.* Office National des Forêts.

BERTHAUD, C., & BAH, F. (2014). *GPS agricole & SIG dans le ferroviaire.* ENSG à Marne La Vallée: Décrptagéo, Les rencontres.

CAESSTEKER, P. (2015). *Zones Humides & Zones Tampons.* ONEMA.

CILB - MEDD - ITTECOP - FRB. (2014). *Appel à projet 2014 - Insfrastructures linéaires de transport, biodiversités et paysages.*

CLEMENT, G. (2004). *Manifeste du Tiers paysage.*

CORDANI, C. (2013). *Recherche d'indicateurs sur l'eau pour un suivi des zones humides méditerranéennes.*

DEHOTIN, J., & BREIL, P. (2011). *Projet IRIP : Rapport technique, Cartographie de l'aléa ruissellement, Note méthodologique.*

DEHOTIN, J., CHAZELLE, B., LAMBERT, L., BREIL, P., BRAUD, I., PAMS CAPOCCIONI, C., et al. (2014). *Diagnostic de l'impact du ruissellement sur la plateforme ferriviaire avec la méthode IRIP.*

Forum des Marais Atlantiques. (2013). *Les compensations en zones humides, Procédures, principes et méthodes d'analyse.*

Forum des Zones Humides. (2013). *Fiche n°43 : Eviter, réduire, compenser en zone humide.*

GAILLARD, S., SEBILO, M., BRUNSTEIN, D., N'GUYEN-THE, D., GRABLY, M., FUSTEC, E., et al. (2002). *Typologie et fonctions des zones humides riveraines, Programme PIREN-Seine 1998-2001.* CNRS.

GROSSI, J.-L. (2010). Les mares prairiales à triton crêté. *Les cahiers techniques*.

Groupe d'experts "Zones Hunides". (2014, 1er et 2ème trimestres). N°82-83 : Zones humides, submersions marines et inondations. *Zones Humides Infos*, p. 24.

KATOSSKY, A., & MARICAL, F. (2011, Septembre). Evaluation économique des services rendus par les zones humides - Complémentarité des méthodes de monétarisation. *Etudes et documents*, p. 50.

Mathevon, A. (2012, Juillet 24). *Réhabilitation de la zone humide du lac d'Aydat*. Consulté le Juillet 22, 2015, sur Pôle relais mares, zones humides intérieures et vallées alluviales: http://www.pole-zhi.org/rehabilitation-de-la-zone-humide-du-lac-daydat

MEDDE. (2014). *Ramsar et la gestion des zones humides en France.*

MEDDE, & GIS Sol. (2014). *Enveloppes des milieux potentiellement humides de la France métropolitaine. Notice d'accompagnement. Programme de modélisation des milieux potentiellement humides de France.* Ministère de l'Ecologie, du Developpement Durable et de l'Energie, Groupement d'Intérêt Scientifique Sol.

MEDDE, SCHNEBELEN, N., & LAROCHE, B. (2013). *Guide d'identification et de délimitation des sols des zones humides.*

Melbourne Water. (2005). *Water Sensitive Urban Design, Engineering Procedures, Stormwater.* CSIRO Publishing.

MERCEY, J. (2013). *La dégradation des produits phytosanitaires dans les zones humides artificielles, Etude des mares du bassin versant de la Vilaine.*

MEROT, P., HUBERT-MOY, L., GASCUEL-ODOUX, C., CLEMENT, B., DURAND, P., BAUDRY, J., et al. (2006). *A method for improving the management of controversial wetland.* Environmental management 37(2).

OERTLI, B., FROSSARD, P.-A., ANGELIBERT, S., ARTHAUD, F., BORNETTE, G., CATTANEO, F., et al. (2013). *Mares et étangs : Ecologie, gestion, aménagement et valorisation.* Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes.

PATRICE, P. (2015). *Evaluation de la méthode IRIP, Application de la méthode IRIP sur le bassin versant de la Lézarde.*

SAÏDI, M. R. (2012). *La représentation sociale des zones humides - Enquête d'opinion.*

SARRAZIN, B. (2012). *MNT et observations multilocales du réseau hydrographique d'un petit bassin versant rural dans une perspective d'aide à la modélisation hydrologique spacialisée.* Université de Grenoble.

Syndicat du Pays de Beauce Gâtinais en Pithiverais. (s.d.). *Etude de prélocalisation des zones humides sur le territoire du SAGE Nappe de Beauce et de ses milieux aquatiques associés, Phase 1 : prélocalisation des enveloppes de fortes probabilités de présence de zones humides.*

Territ'Eau, & Agro-Transfert Bretagne. (2009). *Les zones humides bretonnes insérées dans le paysage agricole : une partie des zones humides inventoriées en France.*

TOURNEBIZE, J., CHAUMONT, C., MARCON, A., MOLINA, S., & BERTHAULT, D. (2015). *Guide technique à l'implantation des zones tampon humides artificielles (ZTHA) pour réduire les transferts de nitrates et de pesticides dans les eaux de drainage, Version 3.*

Sites internet

http://www.ramsar.org

http://www.zones-humides.eaufrance.fr

http://www.zoneshumides-rhonealpes.fr

http://www.cen-rhonealpes.fr/zoneshumides

http://www.pole-lagunes.org

http://www.tourduvalat.org

http://www.forum-zones-humides.org

http://www.legifrance.gouv.fr

http://www.snpn.com/IMG/pdf/ZHI_82-83_Submersions_Inondations.pdf

http://www.gesteau.eaufrance.fr/presentation/sdage

http://www.fne.asso.fr/fr/nos-actions/eau/zones-humides

http://sierm.eaurmc.fr

http://www.ittecop.fr/index.php/presentation/objectifs-et-enjeux-3

http://www.isere.gouv.fr/layout/set/print/Politiques-publiques/Environnement/Patrimoine-naturel/Zones-humides#3.1

http://florence.curie.free.fr/localisation.html

http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/IMG/jpg/zon_hum_carte_cle035a89.jpg

http://www.pole-zhi.org/rehabilitation-de-la-zone-humide-du-lac-daydat

http://www.trameverteetbleue.fr/entree-thematique/milieux-aquatiques-humides

http://zonestampons.onema.fr/mettre-en-place-une-zt/implantation-et-conception/amenager-et-dimensionner-une-zone-tampon-humide

http://www.irstea.fr/toutes-les-actualites/departement-eaux/ingenierie-ecologique-zones-tampons-humides-guide#_ftn1

Cartothèque

http://geowww.agrocampus-ouest.fr/geonetwork/srv/fr/main.home?uuid=518b3e0a-ee55-40cb-a3ed-da00e60505aa

http://dwtkns.com/srtm/

http://data.bordeaux-metropole.fr/themes.php

http://download.geofabrik.de/

http://professionnels.ign.fr/catalogue

http://www.georhonealpes.fr/catalogue/

http://www.sandre.eaufrance.fr/atlascatalogue/#

http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eu-dem#tab-european-data

http://sig.reseau-zones-humides.org/

http://www.inondationsnappes.fr/donnees_SIG.htm?map=tout&dpt=26&x=831000&y=1974100&r=67

http://infoterre.brgm.fr/

Vidéos

http://www.dailymotion.com/video/x10wab8_chronique-d-une-zone-humide-oubliee-le-lac-d-aydat_news

https://www.youtube.com/watch?v=YDLmHNwvIhc

https://www.youtube.com/watch?v=5Tz-m1yMRUk

https://www.youtube.com/watch?v=mVXD4VadEOE

Annexes

ANNEXE 1 : Extraits du Code de l'Environnement concernant les travaux réalisés sur des sites correspondant à des zones humides ou d'éventuelles actions à mener dans la perspective post-RIZHU

ANNEXE 2 : Tableau de correspondance des couleurs du code CORINE Land Cover

ANNEXE 3 : Tableau des relevés des valeurs des critères choisis prises à l'intérieur de l'échantillon de zones humides recensées

ANNEXE 4 : Etude minima/maxima des valeurs relevées à l'intérieur de l'échantillon des trente zones humides répertoriées

ANNEXE 5 : Nouvelle légende d'occupation des sols adaptée au développement de zones humides

ANNEXE 6 : Application du filtre à deux tronçons de voie ferrée et évaluation des résultats par une sortie terrain – sortie n°1

Annexe 1 : Extraits du Code de l'Environnement concernant les travaux réalisés sur des sites correspondant à des zones humides ou d'éventuelles actions à mener dans la perspective post-RIZHU

- L. 211-1-1 : « La préservation et la gestion durable des zones humides […] sont d'intérêt général. Les politiques nationales, régionales et locales d'aménagement des territoires ruraux et l'attribution des aides publiques tiennent compte des difficultés particulières de conservation, d'exploitation et de gestion durable des zones humides et de leur contribution aux politiques de préservation de la diversité biologique, du paysage, de gestion des ressources en eau et de prévention des inondations notamment par une agriculture, un pastoralisme, une sylviculture, une chasse, une pêche et un tourisme adaptés. A cet effet, l'Etat et ses établissements publics, les régions, les départements, les communes et leurs groupements veillent, chacun dans son domaine de compétence, à la cohérence des diverses politiques publiques sur ces territoires. […] »

- L. 211-3 : « II.- […] l'autorité administrative peut : […] 2° Edicter, dans le respect de l'équilibre général des droits et obligations résultant de concessions de service public accordées par l'Etat, des prescriptions spéciales applicables aux installations, travaux et activités qui font usage de l'eau ou qui en modifient le niveau ou le mode d'écoulement et les conditions dans lesquelles peuvent être interdits ou réglementés tous forages, prises d'eau, barrages, travaux ou ouvrages de rejet, notamment dans les zones de sauvegarde de la ressource, déclarées d'utilité publique pour l'approvisionnement actuel ou futur en eau potable »

- L. 211-7 : « I.- Les collectivités territoriales et leurs groupements ainsi que les syndicats mixtes […] [peuvent] entreprendre l'étude, l'exécution et l'exploitation de tous travaux, actions, ouvrages ou installations présentant un caractère d'intérêt général ou d'urgence, dans le cadre du schéma d'aménagement et de gestion des eaux s'il existe, et visant :

  1° L'aménagement d'un bassin ou d'une fraction de bassin hydrographique ; […]

  4° La maîtrise des eaux pluviales et de ruissellement ou la lutte contre l'érosion des sols ; […]

  8° La protection et la restauration des sites, des écosystèmes aquatiques et des zones humides ainsi que des formations boisées riveraines ;

  12° L'animation et la concertation dans le domaine de la gestion et de la protection de la ressource en eau et des milieux aquatiques dans un sous-bassin ou un groupement de sous-bassins, ou dans un système aquifère, correspondant à une unité hydrographique. »

- <u>L. 211-12 :</u> « I.- Des servitudes d'utilité publique peuvent être instituées à la demande de l'Etat, des collectivités territoriales ou de leurs groupements sur des terrains riverains d'un cours d'eau ou de la dérivation d'un cours d'eau, ou situés dans leur bassin versant, […].

  II.- Ces servitudes peuvent avoir un ou plusieurs des objets suivants :

  1° Créer des zones de rétention temporaire des eaux de crues ou de ruissellement, par des aménagements permettant d'accroître artificiellement leur capacité de stockage de ces eaux, afin de réduire les crues ou les ruissellements dans des secteurs situés en aval ; […]

  3° Préserver ou restaurer des zones humides dites " zones stratégiques pour la gestion de l'eau "

  IV.- Dans les zones de rétention temporaire des eaux de crues ou de ruissellement mentionnées au 1° du II, l'arrêté préfectoral peut obliger les propriétaires et les exploitants à s'abstenir de tout acte de nature à nuire au bon fonctionnement, à l'entretien et à la conservation des ouvrages destinés à permettre l'inondation de la zone. […] »

- <u>R. 214-1 :</u> « II.- REJETS :

  2. 1. 5. 0. Rejet d'eaux pluviales dans les eaux douces superficielles ou sur le sol ou dans le sous-sol, la surface totale du projet, augmentée de la surface correspondant à la partie du bassin naturel dont les écoulements sont interceptés par le projet, étant :

  1° Supérieure ou égale à 20 ha (A) ;

  2° Supérieure à 1 ha mais inférieure à 20 ha (D). »

- <u>R. 214-1 :</u> « III- IMPACTS SUR LE MILIEU AQUATIQUE OU SUR LA SÉCURITÉ PUBLIQUE :

  3. 2. 2. 0. Installations, ouvrages, remblais dans le lit majeur d'un cours d'eau :

  1° Surface soustraite supérieure ou égale à 10 000 m2 (A) ;

  2° Surface soustraite supérieure ou égale à 400 m2 et inférieure à 10 000 m2 (D).

  Au sens de la présente rubrique, le lit majeur du cours d'eau est la zone naturellement inondable par la plus forte crue connue ou par la crue centennale si celle-ci est supérieure. La surface soustraite est la surface soustraite à l'expansion des crues du fait de l'existence de l'installation ou ouvrage, y compris la surface occupée par l'installation, l'ouvrage ou le remblai dans le lit majeur.

3. 2. 3. 0. Plans d'eau, permanents ou non :

1° Dont la superficie est supérieure ou égale à 3 ha (A) ;

2° Dont la superficie est supérieure à 0,1 ha mais inférieure à 3 ha (D).

4. 2. 4. 0. Vidanges de plans d'eau :

1° Vidanges de plans d'eau issus de barrages de retenue, dont la hauteur est supérieure à 10 m ou dont le volume de la retenue est supérieur à 5 000 000 m3 (A) ;

2° Autres vidanges de plans d'eau, dont la superficie est supérieure à 0,1 ha, hors opération de chômage des voies navigables, hors piscicultures mentionnées à l'article L. 431-6, hors plans d'eau mentionnés à l'article L. 431-7 (D).

Les vidanges périodiques des plans d'eau visés au 2° font l'objet d'une déclaration unique. »

- R. 214-1 : « V.- RÉGIMES D'AUTORISATION VALANT AUTORISATION AU TITRE DES ARTICLES L. 214-1 ET SUIVANTS DU CODE DE L'ENVIRONNEMENT :

  5. 2. 3. 0. Les travaux décidés par la commission d'aménagement foncier comprenant des travaux tels que l'arrachage des haies, l'arasement des talus, le comblement des fossés, la protection des sols, l'écoulement des eaux nuisibles, les retenues et la distribution des eaux utiles, la rectification, la régularisation et le curage des cours d'eau non domaniaux (A). »

- R. 214-4 : « Lorsqu'ils sont situés à l'intérieur du périmètre de protection d'une source d'eau minérale naturelle déclarée d'intérêt public et qu'ils comportent des opérations de sondage ou de travail souterrain, les installations, ouvrages, travaux et activités soumis à déclaration par la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 sont également soumis à l'autorisation […] »

Toutes ces règles devront être prises en compte dans le cas de l'aménagement d'une nouvelle zone humide.

Annexe 2 : Tableau de correspondance des couleurs du code CORINE Land Cover

Code CLC	Libellé		Couleur
111	Tissu urbain continu	**Territoires artificialisés**	
112	Tissu urbain discontinu		
121	Zones industrielles et commerciales		
122	Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés		
123	Zones portuaires		
124	Aéroports		
131	Extraction de matériaux		
132	Décharges		
133	Chantiers		
141	Espaces verts urbains		
142	Equipements sportifs et de loisirs		
211	Terres arables hors périmètres d'irrigation	**Territoires agricoles**	
212	Périmètres irrigués en permanence		
213	Rizières		
221	Vignobles		
222	Vergers et petits fruits		
223	Oliveraies		
231	Prairies		
241	Cultures annuelles associées aux cultures permanentes		
242	Systèmes culturaux et parcellaires complexes		
243	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants		
244	Territoires agro-forestiers		
311	Forêts de feuillus	**Forêts et milieux semi-naturels**	
312	Forêts de conifères		
313	Forêts mélangées		
321	Pelouses et pâturages naturels		
322	Landes et broussailles		
323	Végétation sclérophylle		
324	Forêt et végétation arbustive en mutation		
331	Plages, dunes et sable		
332	Roches nues		
333	Végétation clairsemée		
334	Zones incendiées		
335	Glaciers et neiges éternelles		
411	Marais intérieurs	**Zones humides**	
412	Tourbières		
421	Marais maritimes		
422	Marais salants		
423	Zones intertidales		
511	Cours et voies d'eau	**Surfaces en eau**	
512	Plans d'eau		
521	Lagunes littorales		
522	Estuaires		
523	Mers et océans		

Annexe 3 : Tableau des relevés des valeurs des critères choisis prises à l'intérieur de l'échantillon de zones humides recensées

	Zones humides recensées	localisation	surface	cartes de potentiel de ruissellement						indicateurs			présence d'un cours d'eau
				production	dominante*	transfert	dominante*	accumulation	dominante*	pente	indice topographique	aires drainées	
1	Bois des Mavauvres et de la forêt	01 Ain	1,7km²	2-4	moyenne	0-2	faible	1-5	moyenne à forte	0,0007-0,054	13,6-25	900-2451600	non MAIS présence d'un linéaire d'aires drainées importantes (correspond à un bois situé à l'est d'un cours d'eau, le cours d'eau et sa ripisylve étant aussi classés en zone humide, de même que la forêt située à l'est du cours d'eau)
2	forêt de combes	01 Ain	12,6ha	3-4	élevée	1-3	faible	1-4	moyenne à forte	0,002-0,03	14,3-24,9	900-849600	non MAIS présence d'un linéaire d'aires drainées importantes
3	Grange du Pin	01 Ain	10,1ha	2-4	moyenne	0-4	faible à moyenne	1-5	moyenne à forte	5e-5-0,07	13,5-28,6	900-2826000	oui

4	étangs de Malacord	01 Ain	8,5ha	3-4	élévée	1-3	moyenne	2-5	forte	0,0005-0,02	14,8-27,3	900-6480000	non MAIS présence d'un linéaire à fortes valeurs d'aires drainées
5	Etangs de La Dombes	01 Ain	fragments éparpillés	1-4	moyenne	0-3	faible	1-5	moyenne à forte	0,0001-0,03	13,8-26	900-…	oui et non MAIS présence de linéaires ou de réseaux de linéaires d'aires drainées importantes.
6	Clapier	07 Ardèche	16,4ha	1-3	moyenne	0-3	moyenne	1-4	moyenne à forte	0,0002-0,11	13,2-26,5	900-82739664	oui ET semble correspond à une "zone d'épandage de crue"
7	Chaix	07 Ardèche	3,2ha	2-3	moyenne	0-3	faible	1-4	moyenne	0,079-0,19	13-17,5	3600-72000	non MAIS comprend un talweg sec
8	La croix St Martin	07 Ardèche	2,6ha	2-3	moyenne	0-2	faible	1-4	forte	0,035-0,11	13,8-18,3	900-105300	non MAIS à proximité d'un cours d'eau ET en tête d'un réseau d'aires drainées importantes

9	Vallon du Crouzet	07 Ardèche	1,6ha	1-4	faible à forte	0-3	faible	2-5	forte	0,028-0,147	13,2-21,5	900-1143000	oui ET suit un linéaire d'aires drainées importantes
10	Gravières - les Iles	26 Drôme	2,8km²	1-4	forte	0-3	faible	1-5	moyenne à forte	1e-4-0,07	13,7-28	900-152816000	non MAIS encadrée par deux cours d'eau - gravières…
11	Emeil Est A7	26 Drôme	79ha	0-2	faible	0-4	faible	0-4	moyenne à forte	0,007-0,22	12,5-23	900-4329900	non MAIS contient un réseau de linéaires d'aires drainées importantes
12	Les Petits Etangs	26 Drôme	62,5ha	2-3	moyenne	0-3	faible à moyenne	1-5	moyenne	0,0005-0,028	14,4-25,2	900-4044600	oui ET englobe un linéaire d'aires drainées importantes
13	ZH canaux de la Chirouze	26 Drôme	39,6ha	2-3	moyenne	0-3	faible	1-4	moyenne à forte	0,005-0,062	13,2-23	625-264375	non MAIS longe un cours d'eau
14	La Merline - ruisseau de Bagnol	26 Drôme	28,9ha	2-3	moyenne	0-3	faible hors cours d'eau	1-5	moyenne	0,0026-0,081	13,4-24,8	625-5421250	oui MAIS les linéaires d'aires drainées ne correspondent pas au réseau hydrographique

15	La Chirouze T2 agri	26 Drôme	28ha	2-3	moyenne	0-3	fiable	1-5	moyenne à forte	0,00015-0,04	13,7-26,2	625-6031875	oui MAIS le linéaire d'aires drainées importantes ne correspond pas au réseau hydrographique (modification certainement antropique)
16	Iles des cadets-Plaine de Pierrelatte	26 Drôme	18,57ha	2-3	moyenne	0-2	faible	1-5	moyenne	0,0016-0,05	13,9-23,2	900-425700	non
17	Le chabot	26 Drôme	18ha	2-3	moyenne	0-3	faible	1-5	moyenne	0,0014-0,093	13,1-24,7	625-8148125	oui ET le long d'un linéaire d'aires drainées importantes
18	Les Evignols	26 Drôme	16ha	1-3	faible à moyenne	0-4	faible à moyenne	0-5	forte	0,0019-0,28	12,1-25,3	900-3646800	oui ET le long de celui-ci
19	la Chirouze T1	26 Drôme	11,9ha	2-3	moyenne	0-3	faible	0-5	moyenne	0,01-0,25	11,8-23,3	625-68125	non MAIS le long d'un cours d'eau
20	Carrière du bois des pauvres	26 Drôme	9ha	1-2	faible	0-3	faible	1-3	moyenne	0,007-0,052	13,5-21,8	625-408750	non MAIS traversée par un linéaire d'aires drainées importantes

21	Le Colombier (2)	26 Drôme	8,15ha	2-3	moyenne	0-2	faible	1-4	faible à moyenne	0,02-0,05	14,08-18,8	900-52200	non MAIS encadrée par trois cours d'eau et deux linéaires d'aires drainées importantes
22	Pecquet	26 Drôme	7,5ha	2-3	moyenne	0-2	faible	1-5	moyenne à faible	0,004-0,047	14,2-25,4	625-7246250	non MAIS longe un cours d'eau ET présence d'un réseau de linéaires d'aires drainées importantes
23	Combe de la Mandicité	26 Drôme	5ha	2-3	moyenne	0-4	faible à forte	0-3	faible à forte	0,07-0,3	12,7-19	900-15300	non MAIS longe un linéaire d'aires drainées importantes
	Remarque : La plupart des zones humides recensées dans la Drôme correspondent aux cours d'eau permanents ou temporaires.									-	-	-	-
24	Chassagne	38 Isère	3,84km²	2-3	moyenne	0-3 (présence d'une route)	faible	1-5	moyenne à forte	0,011-0,09	13-24	900-8381700	oui ET traversée par un linéaire d'aires drainées importantes : talweg sec?

25	L'Etang	38 Isère	3,2km²	1-3	moyenne	0-4	faible	0-5	moyenne à forte	0,0003-0,27	13-28	900-8738100	non MAIS présence d'un réseau de linéaires d'aires drainées importantes : talweg sec?
26	Les Charbonnières	38 Isère	1,96km²	2-3	moyenne	0-3	faible	1-5	moyenne à forte	0,003-0,22	13-24	900-5226300	non MAIS présence d'un réseau de linéaires d'aires drainées importantes : talweg sec?
27	Le Serrein	38 Isère	42ha	1-3	faible	0-2	faible	1-4	moyenne à forte	0,011-0,07	13,4-19,6	900-163800	non MAIS présence d'un réseau de linéaires d'aires drainées importantes : talweg sec?
28	Maison Denolly	38 Isère	15,38ha	2-3	moyenne	0-2	faible	1-4	moyenne	0,0018-0,06	13,8-22,5	900-613800	non MAIS présence d'un réseau de linéaire d'aires drainées importantes : talweg sec?
29	La Croix Bergeret	38 Isère	14ha	0	nulle	0-2	faible	1-3	faible	0,018-0,115	13,3-17	900-14400	non MAIS sur une selle à cheval, plateau entre deux pentes

													raides
30	Combe de Claire	38 Isère	6,86ha	0-2	faible	0-3	moyenne	0-4	moyenne	0,044-0,3	12,9-21,37	900-1797300	non MAIS le long d'un linéaire d'aires drainées importantes : talweg sec?

Annexe 4 : Cas particulier de la Dombes - Exemple de l'étude des critères

La Dombes correspond à un plateau d'origine morainique (dépôt de sable, cailloux et argile) situé dans le département de l'Ain au Nord-Est de Lyon. Les étangs, très nombreux, y ont été creusés par l'homme. Le fond présente une légère pente ce qui permet un écoulement lent et régulier vers les exutoires.

L'analyse d'iRIP d'un bassin versant intercepté par un linéaire de voie ferré montre des résultats intéressants, bien que ces zones humides soient d'origine anthropique.

- Carte de potentiel de production du ruissellement :

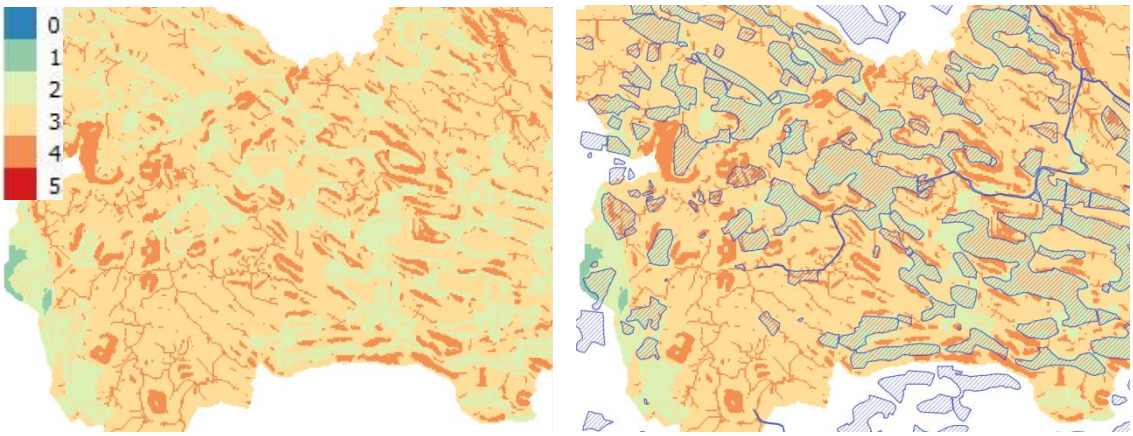


Figure 69 : Comparaison de la carte de potentiel de production du ruissellement et des emplacements des zones humides recensées de la Dombes (zones rayées bleues dans la figure de droite)

Les zones humides ne se retrouvent pas dans les zones de forte production. En revanche, elles se retrouvent souvent encadrées par celles-ci.

- Carte de potentiel de transfert du ruissellement :

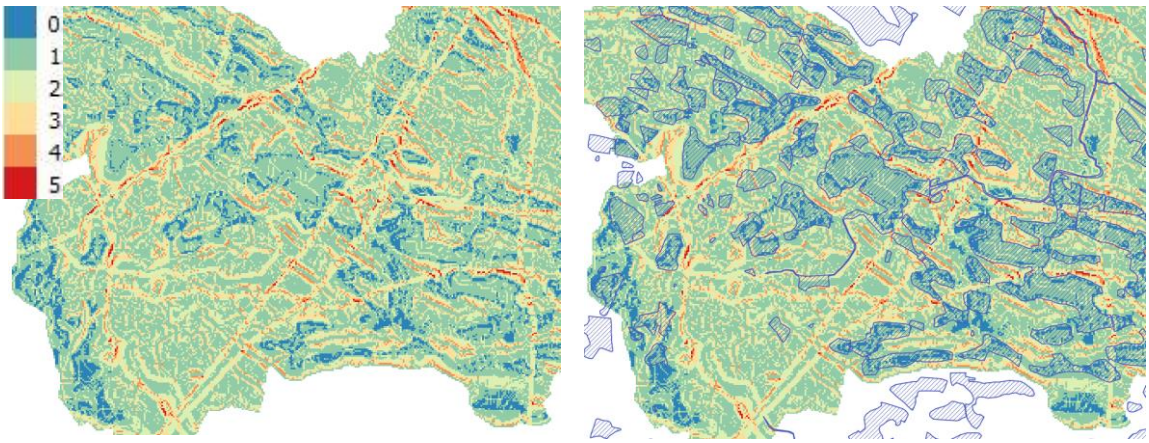


Figure 70 : Comparaison de la carte de potentiel de transfert du ruissellement et des emplacements des zones humides recensées de la Dombes (zones rayées bleues dans la figure de droite)

Les zones humides se retrouvent dans les zones à faible transfert de ruissellement. Ces résultats confirment l'idée que l'on peut se faire d'une zone humide.

- Carte de potentiel d'accumulation du ruissellement :

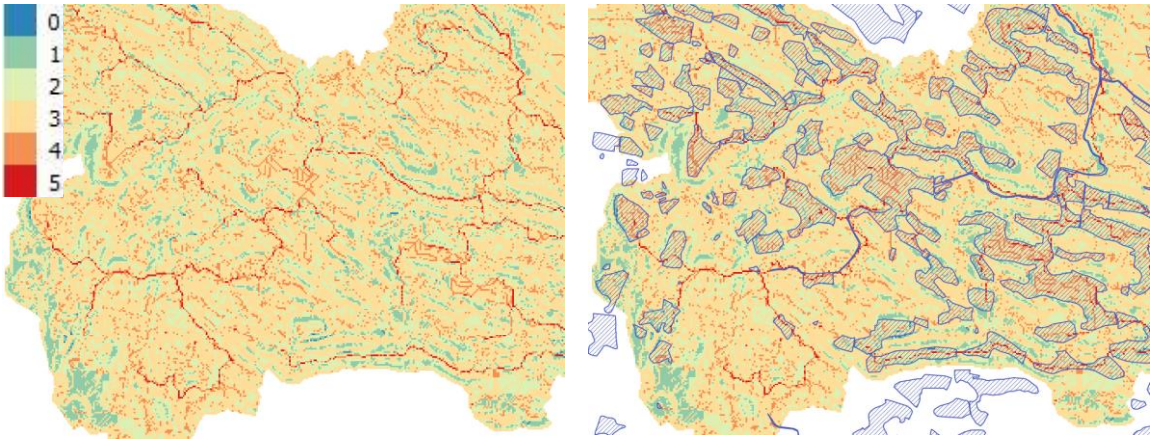


Figure 71 : Comparaison de la carte de potentiel d'accumulation du ruissellement et des emplacements des zones humides recensées de la Dombes (zones rayées bleues dans la figure de droite)

Il est bien plus difficile de deviner certains contours sur la carte de potentiel d'accumulation du ruissellement.

- Carte des pentes :

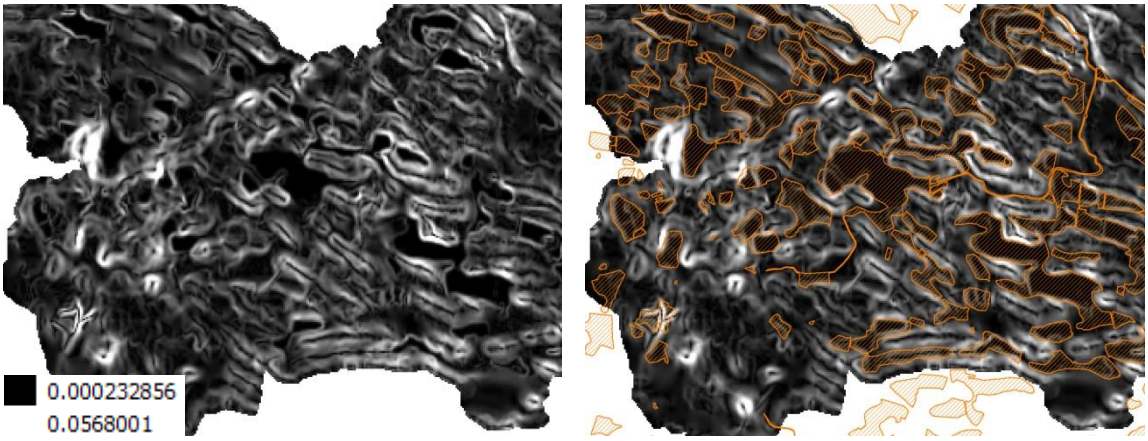


Figure 72 : Comparaison de la carte des pentes et des emplacements des zones humides recensées de la Dombes (zones rayées orange dans la figure de droite)

Les zones humides se retrouvent dans les zones de faible pente et contournant les zones à plus fortes pentes. Ce résultat est à nouveau cohérent avec nos attentes.

➢ Carte des indices topographiques :

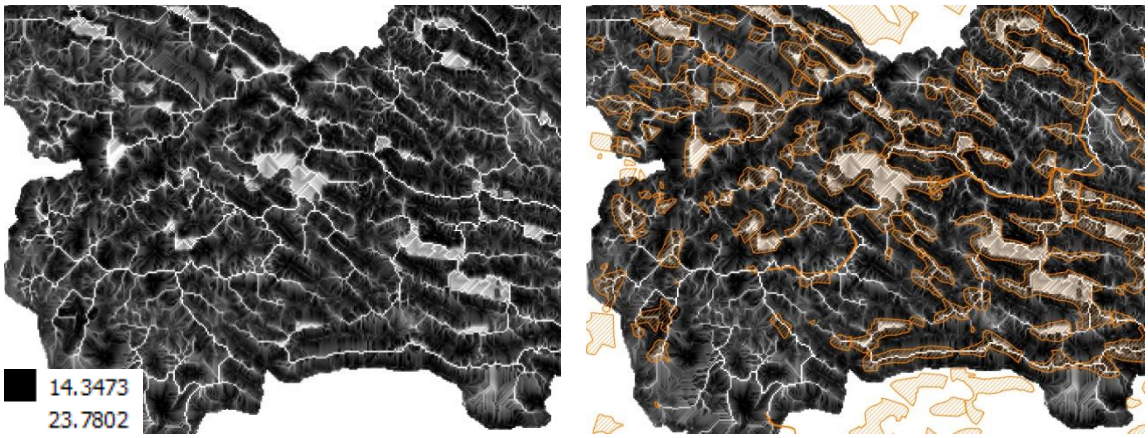


Figure 73 : Comparaison de la carte des indices topographiques et des emplacements des zones humides recensées de la Dombes (zones rayées orange dans la figure de droite)

Ce cas est un excellent exemple pour faire ressortir la pertinence du critère de l'indice topographique : les zones à plus forte indice semblent plus favorables à la présence d'une zone humide.

➢ Carte des aires drainées :

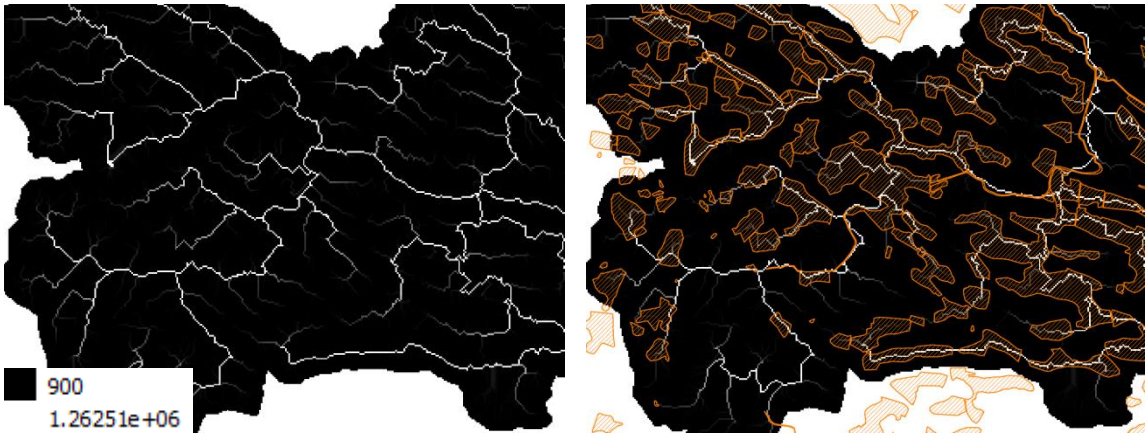


Figure 74 : Comparaison de la carte des aires drainées et des emplacements des zones humides recensées de la Dombes (zones rayées orange dans la figure de droite)

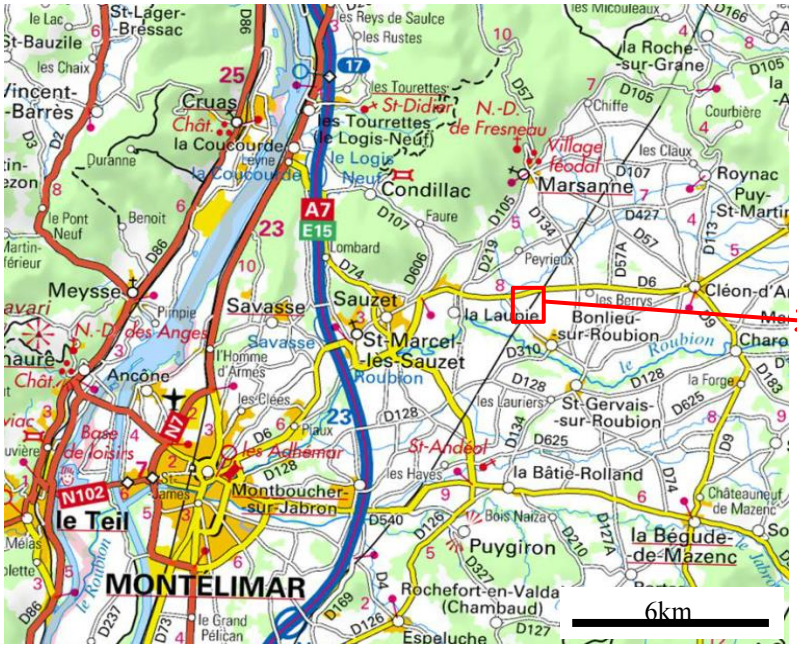
On peut noter que les zones humides se développent particulièrement le long des réseaux de drainage et plus particulièrement dans les parties amont.

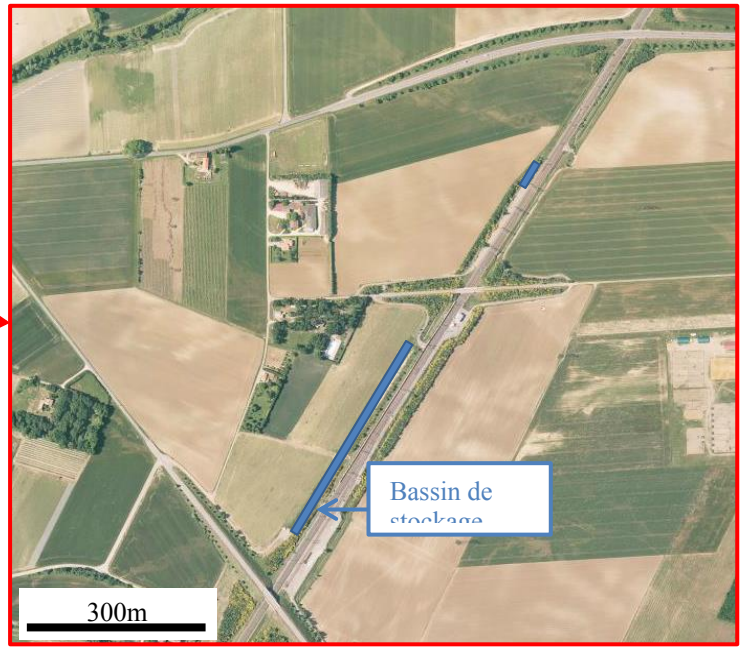
Annexe 5 : Nouvelle légende d'occupation des sols adaptée au développement de zones humides

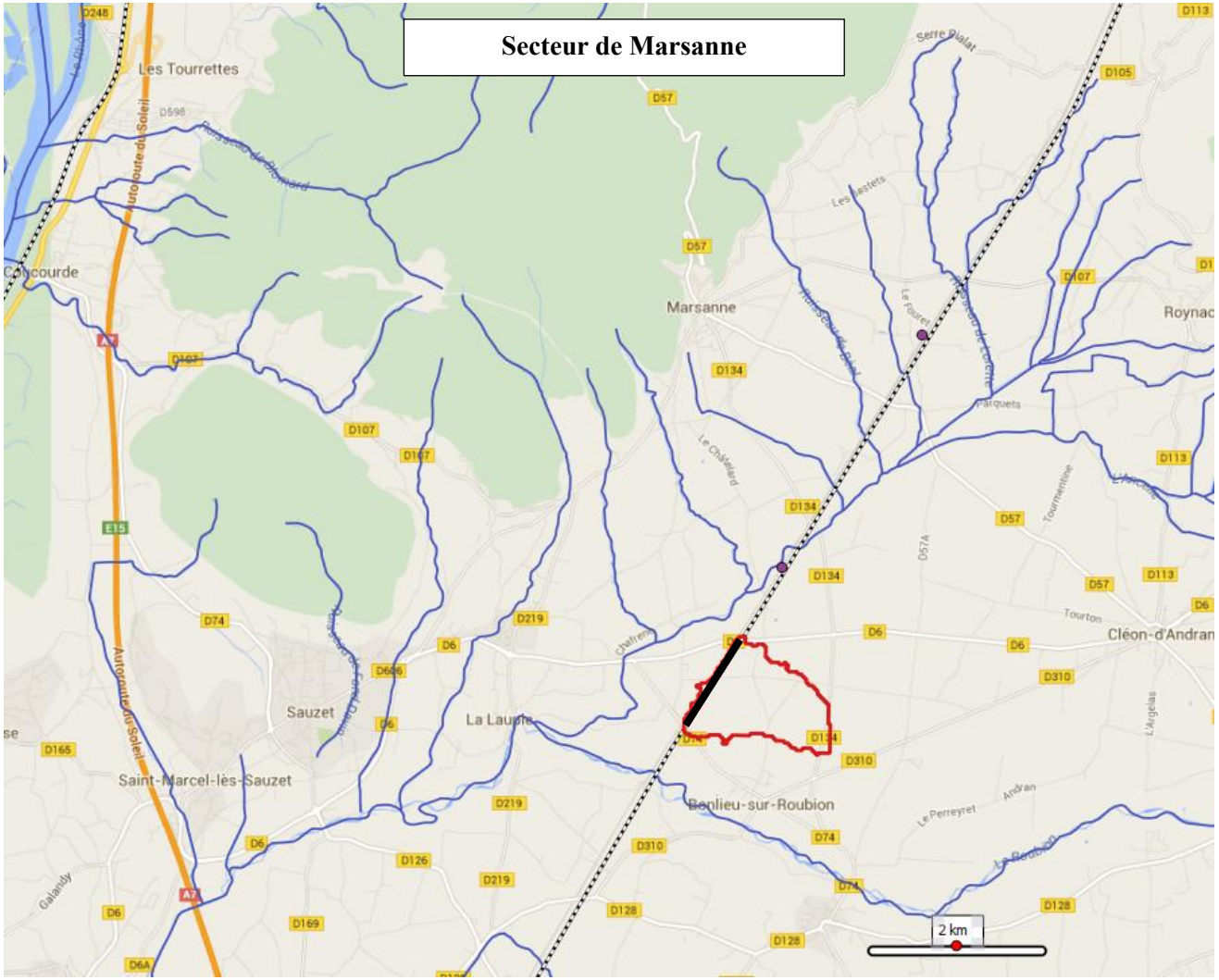
Code CLC	Libellé	Valeur de légende
111	Tissu urbain continu	0
112	Tissu urbain discontinu	0
121	Zones industrielles et commerciales	0
122	Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés	0
123	Zones portuaires	0
124	Aéroports	0
131	Extraction de matériaux	0
132	Décharges	0
133	Chantiers	0
141	Espaces verts urbains	0
142	Equipements sportifs et de loisirs	0
211	Terres arables hors périmètres d'irrigation	1
212	Périmètres irrigués en permanence	1
213	Rizières	1
221	Vignobles	1
222	Vergers et petits fruits	1
223	Oliveraies	1
231	Prairies	1
241	Cultures annuelles associées aux cultures permanentes	1
242	Systèmes culturaux et parcellaires complexes	1
243	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants	1
244	Territoires agro-forestiers	1
311	Forêts de feuillus	1
312	Forêts de conifères	0
313	Forêts mélangées	1
321	Pelouses et pâturages naturels	1
322	Landes et broussailles	1
323	Végétation sclérophylle	0
324	Forêt et végétation arbustive en mutation	1
331	Plages, dunes et sable	0
332	Roches nues	0
333	Végétation clairsemée	1
334	Zones incendiées	0
335	Glaciers et neiges éternelles	0
411	Marais intérieurs	1
412	Tourbières	1
421	Marais maritimes	1
422	Marais salants	1
423	Zones intertidales	1
511	Cours et voies d'eau	0
512	Plans d'eau	0
521	Lagunes littorales	0
522	Estuaires	0
523	Mers et océans	0

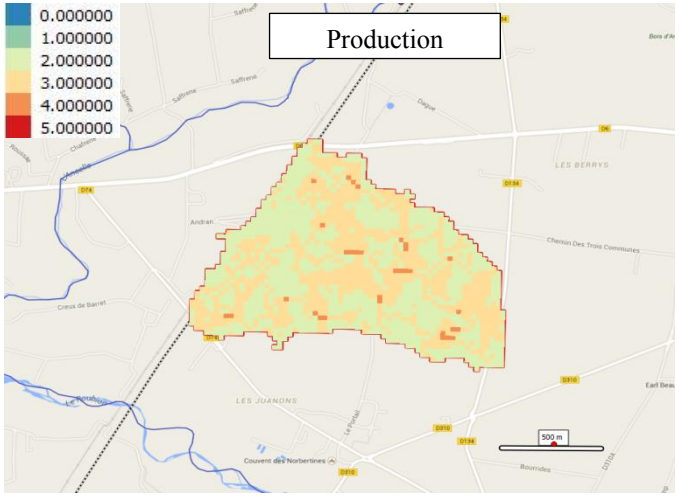
Annexe 6 : Sortie terrain n°1

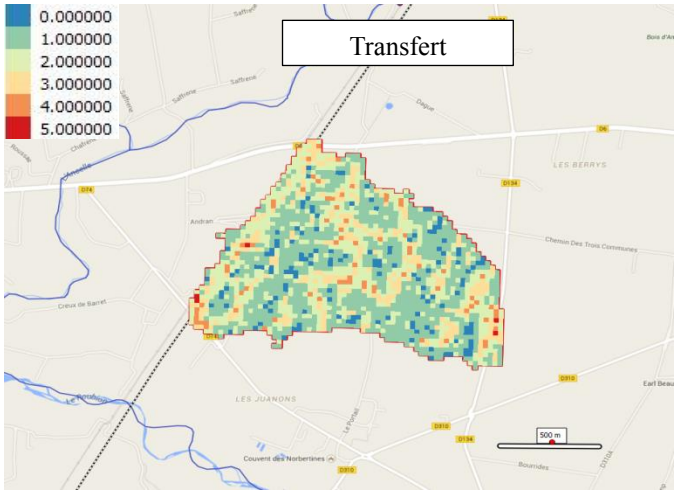
- **<u>PK 540,920-542,001 :</u>**

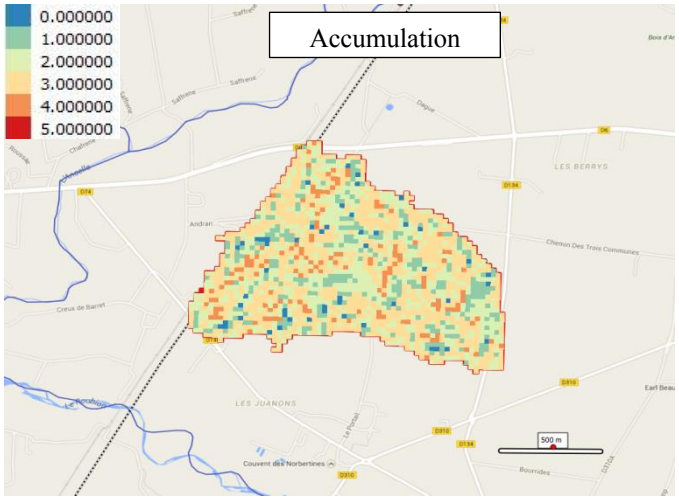


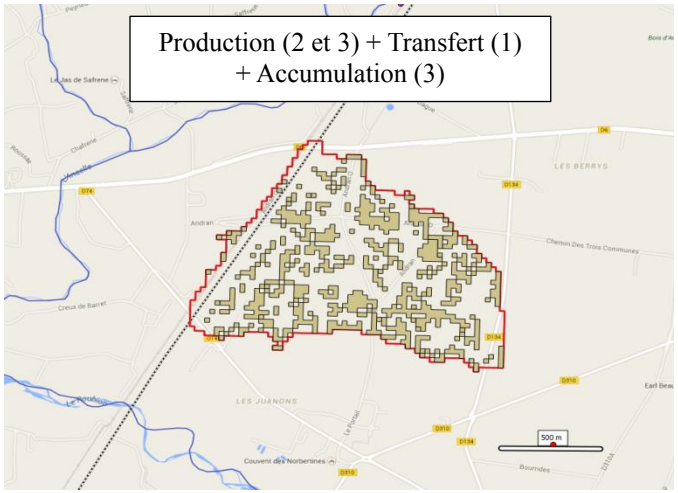


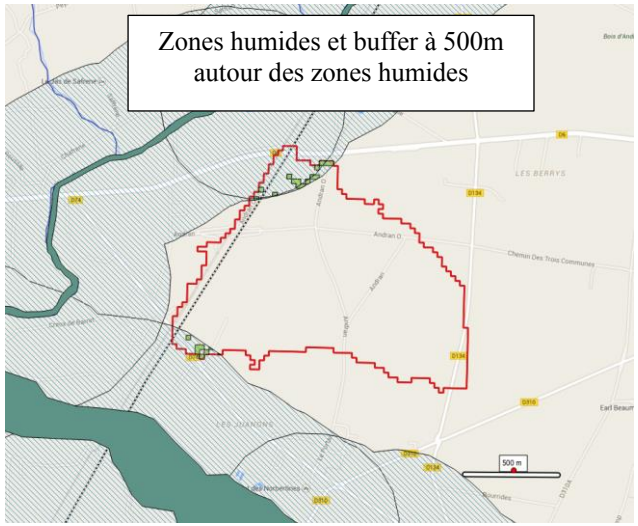

Secteur de Marsanne
Les Tourrettes
Marsanne
Roynac
Cléon-d'Andran
Sauzet
La Laupie
Saint-Marcel-lès-Sauzet
Benlieu-sur-Roubion
2 km

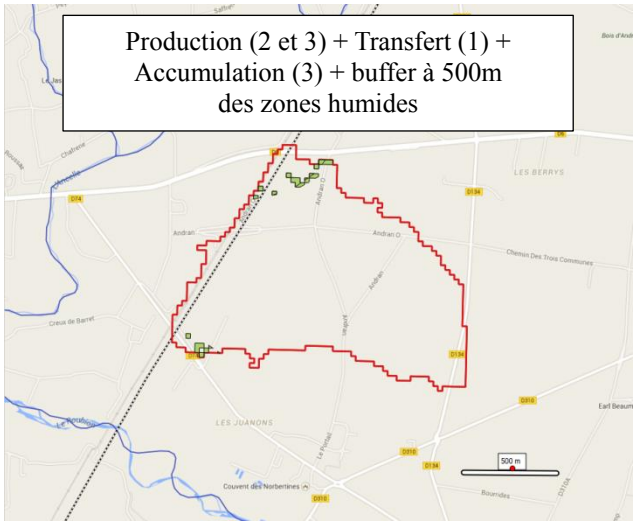

0.000000
1.000000
2.000000
3.000000
4.000000
5.000000
Production
LES BERRYS
LES JUANONS
500 m

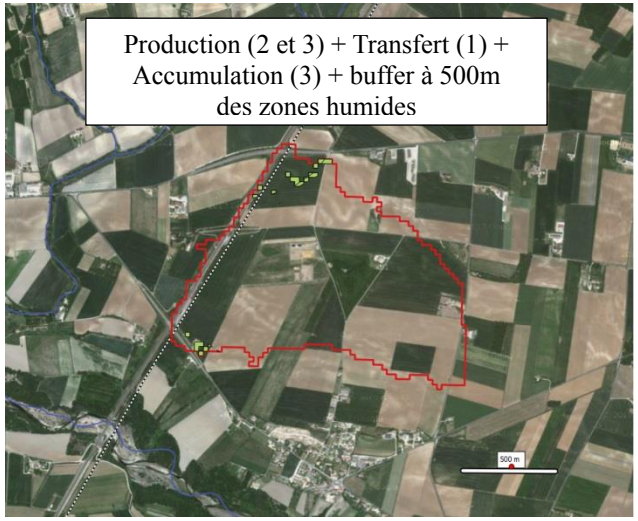

0.000000
1.000000
2.000000
3.000000
4.000000
5.000000
Transfert
LES BERRYS
LES JUANONS
500 m

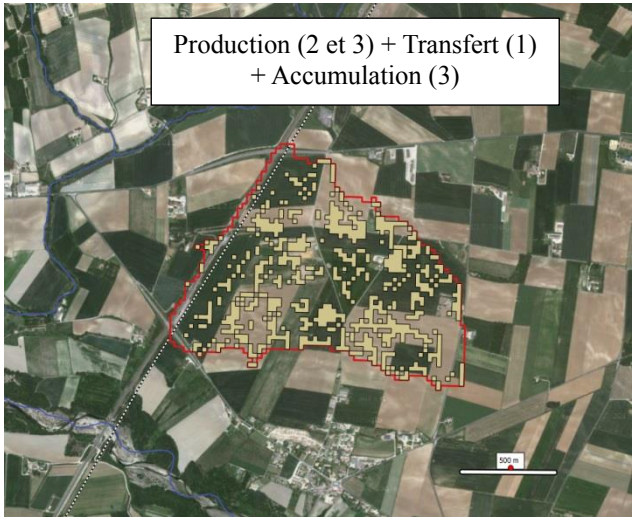

0.000000
1.000000
2.000000
3.000000
4.000000
5.000000
Accumulation
LES BERRYS
LES JUANONS
500 m


Production (2 et 3) + Transfert (1)
+ Accumulation (3)
LES BERRYS
LES JUANONS
500 m

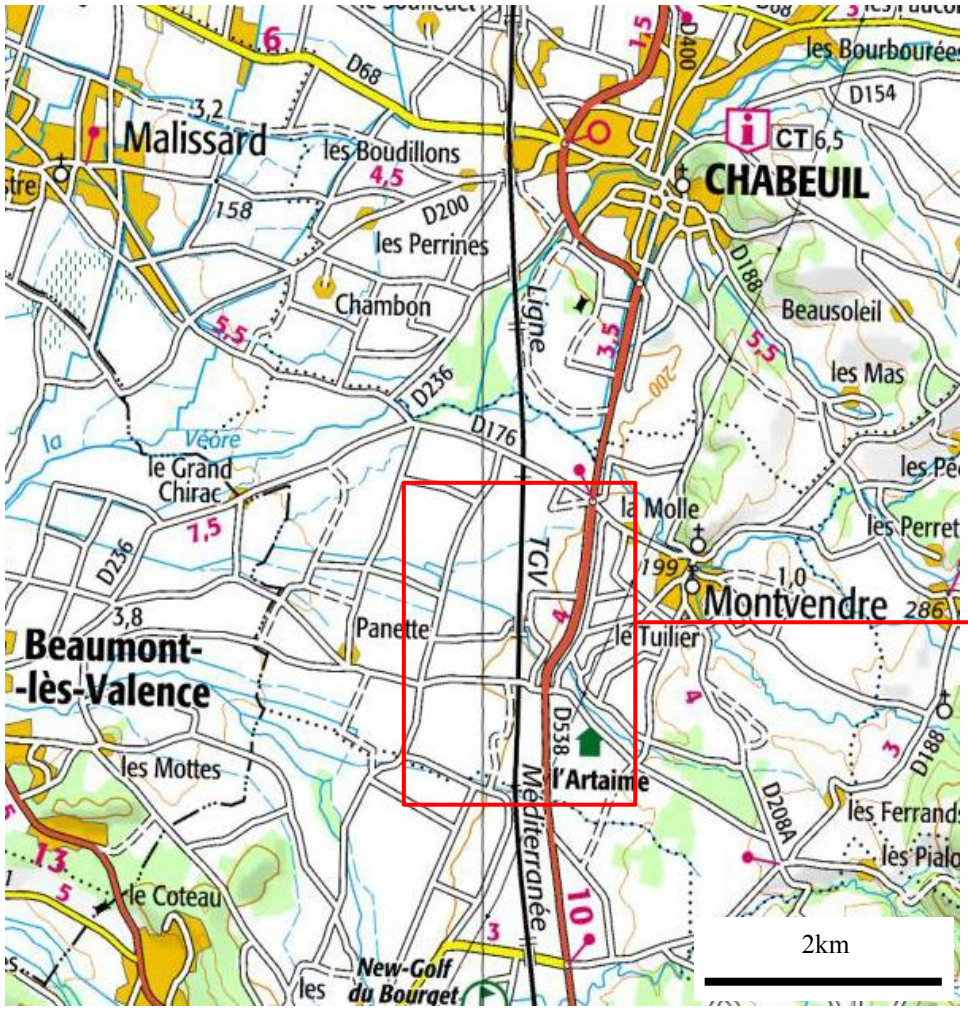

Zones humides et buffer à 500m
autour des zones humides
500 m

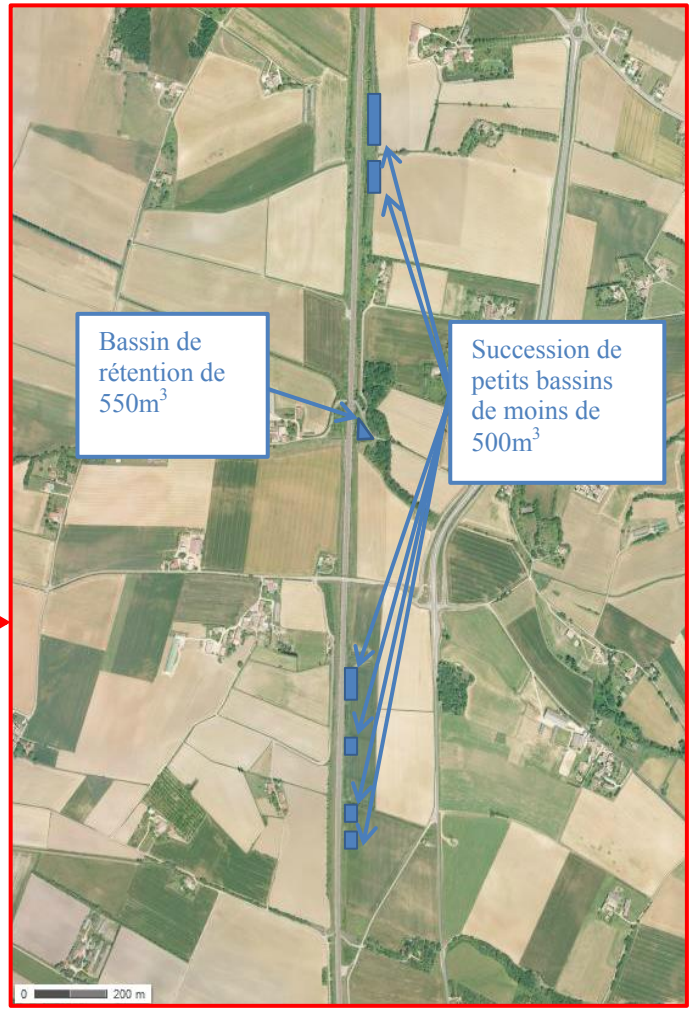

Production (2 et 3) + Transfert (1) +
Accumulation (3) + buffer à 500m
des zones humides
500 m


Production (2 et 3) + Transfert (1) +
Accumulation (3) + buffer à 500m
des zones humides
500 m

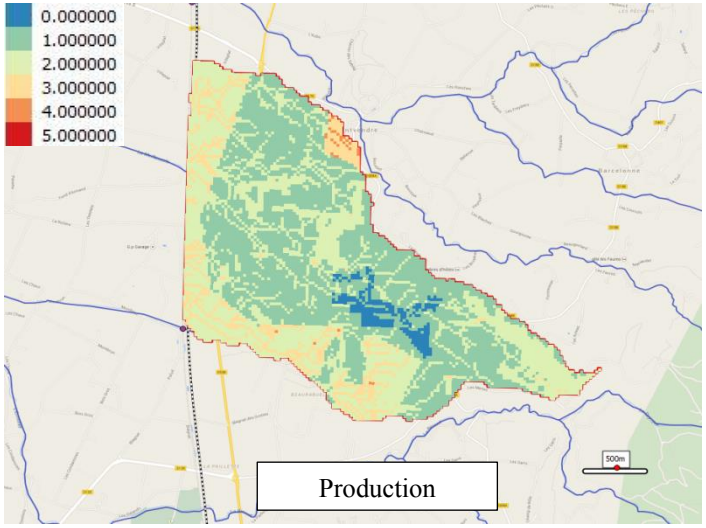

Production (2 et 3) + Transfert (1)
+ Accumulation (3)
500 m

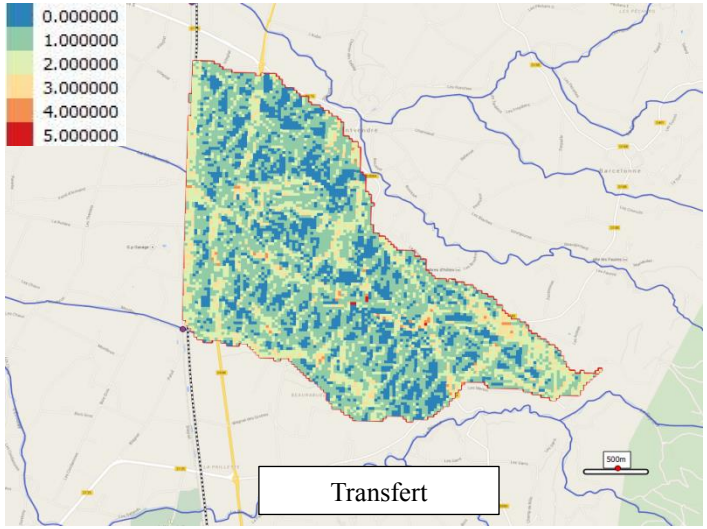
- **PK 508,534-511,000 :**

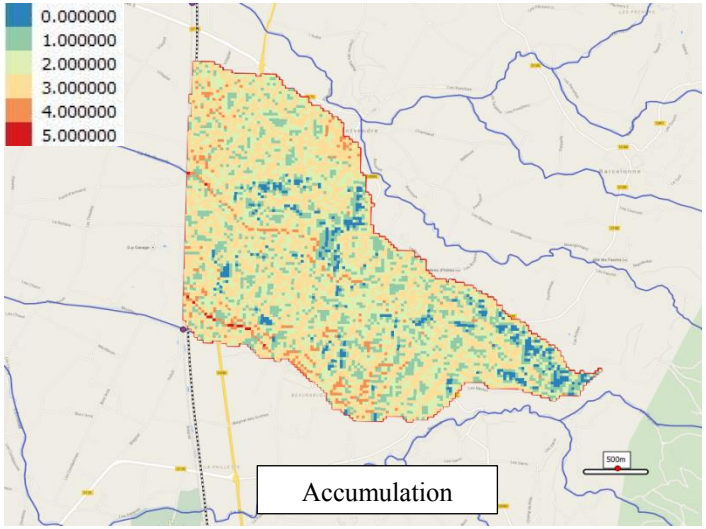


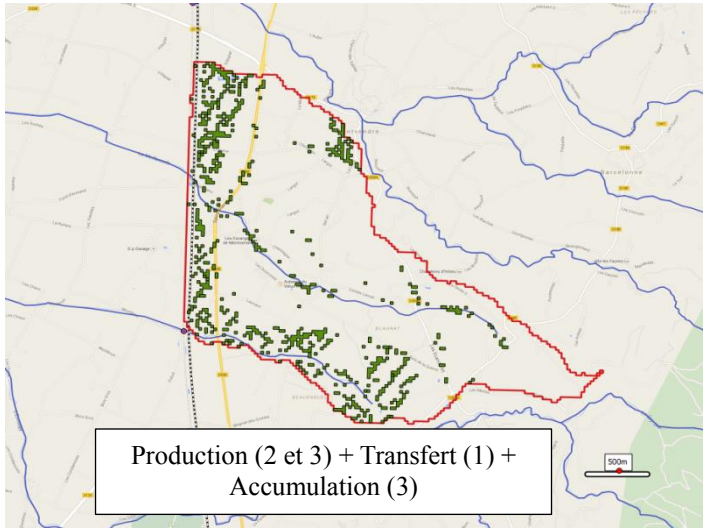


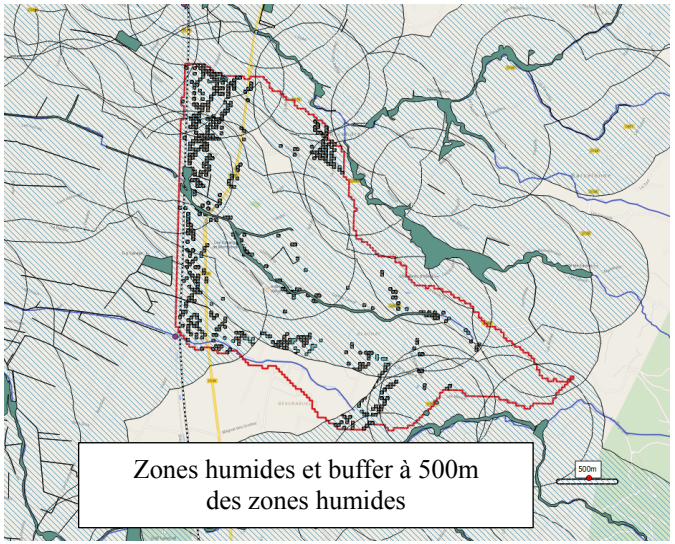
Secteur de Montvendre
2km


0.000000
1.000000
2.000000
3.000000
4.000000
5.000000
Production

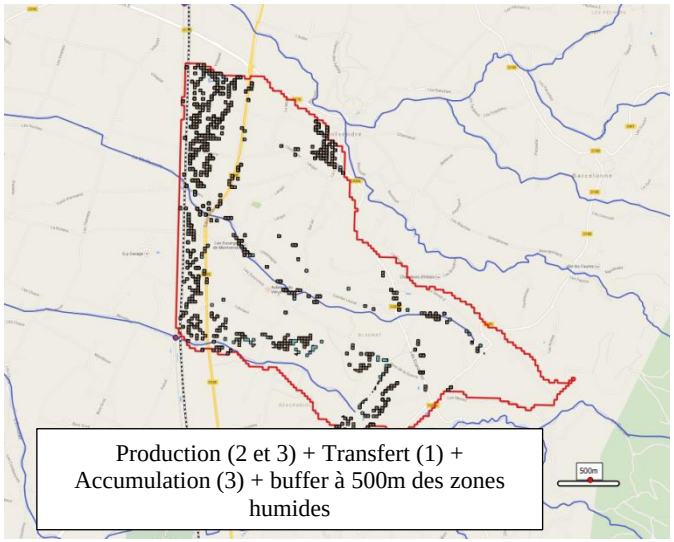

0.000000
1.000000
2.000000
3.000000
4.000000
5.000000
Transfert


0.000000
1.000000
2.000000
3.000000
4.000000
5.000000
Accumulation

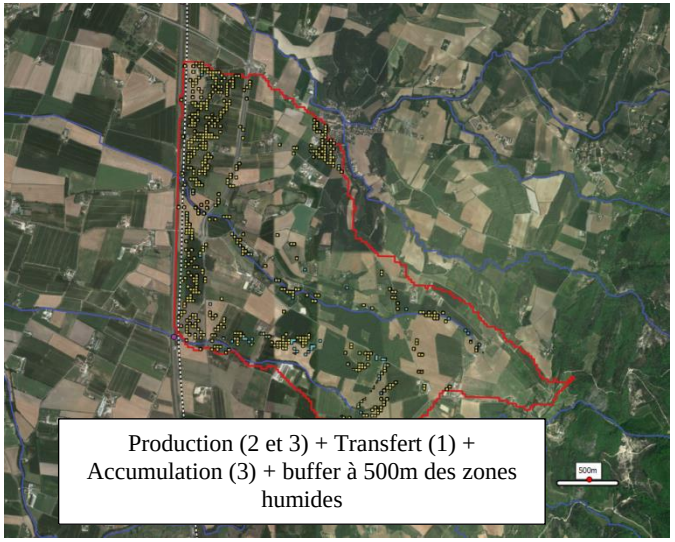

Production (2 et 3) + Transfert (1) +
Accumulation (3)



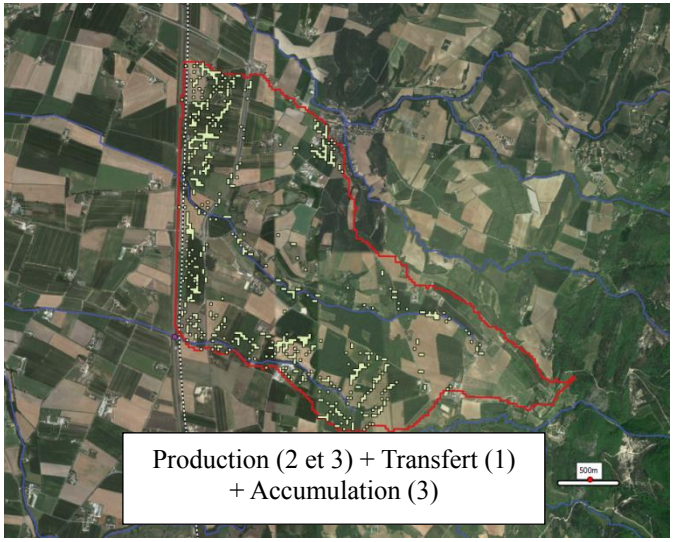
Zones humides et buffer à 500m des zones humides



Production (2 et 3) + Transfert (1) + Accumulation (3) + buffer à 500m des zones humides



Production (2 et 3) + Transfert (1) + Accumulation (3) + buffer à 500m des zones humides



Production (2 et 3) + Transfert (1) + Accumulation (3)