



**Étude de prélocalisation des zones humides
du bassin versant du Loir pour la définition
d'orientations de gestion et de préservation
de ces milieux dans le cadre du SAGE**

**PHASE 1 : prélocalisation zones humides par
photo interprétation**

Bureau d'étude

TTI Production
136, rue Guy Arnaud
F30900 Nîmes
Tél . +33(0) 466 212 025



SOMMAIRE

I) RESUME7

II) SYNTHÈSE DES DONNÉES EXISTANTES 8

1) Méthode d'analyse	8
A) Le géoréférencement	8
B) Traitement des données	8
2) Les données exogènes de délimitation à l'aide de critères de végétation	9
A) Les données du PNR du Perche	9
B) La prélocalisation des zones humides et plans d'eau de la DREAL Pays-de-la-Loire	11
C) La Cartographie d'occupation du sol de la DDAF d'Indre et Loire	12
D) Les données ZNIEFF 49, NATURA 2000,	13
3) Les données exogènes relatives à l'eau	14
A) Les données des inventaires des mares et plans d'eau du Maine - et-Loire et de la Sarthe	14
B) L'inventaire du conservatoire d'Eure et Loir des mares et plan d'eau.....	15
C) Les données de la BD TOPO de l'IGN	16
a) Les plans d'eau	17
b) Les cours d'eau	17
D) Les données de la BD Carthage	17
4) Les données exogènes définies sur le critère pédologique	17
A) Inventaire des étangs de CASSINI	17
B) Autres données	20
5) Les données issues de traitements de données	20
A) L'indice IBK	20
a) Le Modèle numérique de terrain (MNT)	20
b) Notion d'indice Beven-Kirkby	22
c) Exploitation de l'IBK	23

B) Création d’une enveloppe d’alerte autour du réseau hydrographique linéaire et surfacique	25
a) Préparation et mise à jour de la couche hydrographique	25
b) Mise à jour de la BD ORTHO et de la BD Carthage	28
c) Transformation du linéaire en polygonal	32
d) Secteurs de présence potentielle de zones humides autour du réseau hydrographique linéaire	33
6) Campagne de validation terrain	35
A) Réalisation de la campagne de terrain	35
a) Travail préparatoire	36
b) Problématiques observées sur le terrain et résultat	36
B) Comparatif inventaires / terrain	37
a) Croisements avec la distance au réseau hydrographique.	37
b) Croisement statistique avec l’indice IBK	40
c) Conclusion sur les résultats de l’enquête de terrain	42
d) Méthodologie de validation phytosociologique	42
e) Résultat de l’analyse	43
C) Préparation des inventaires et photo -interprétations mis à disposition pour intégration.	46
a) Regroupement des inventaires de la Sarthe, du PNR du Perche et de l’ODS de la DDAF d’Indre et Loire.	46

III) TELEDETECTION - IMAGERIE 52

1) Données satellitaires à disposition	52
A) Notions de base de télédétection optique-infrarouge	52
a) le spectre de la lumière	52
b) Propriétés optiques des végétaux, de l'eau et du sol	52
c) Choix du type d’image satellitaires en fonction de la thématique analysée.....	54
B) Les données AVNIR (satellite ALOS)	55
C) Les données RAPIDEYE	57
D) Les prétraitements	58
a) Géoréférencement et orthorectification	58
b) Les compositions colorées	59
c) Traitements spécifiques (ACP)	60
E) Données aériennes : BD ORTHO	62

IV) PHOTO-INTERPRETATION 64

1) Échelles de travail	64
2) Typologie de photo-interprétation	64
3) Méthodologie de photo-interprétation	72
A) Rappel des zones de travail	72
B) Méthodologie	73
C) Limites de la photo-interprétation	74
4) Résultats de la photo-interprétation	75

IV) ASSEMBLAGE DES COUCHES D'INFORMATIONS. 78

1) Méthodologie générale	78
2) Assemblage des couches "eau" et du "buffer eau" avec l'IBK	80
3) Intégration des éléments de Cassini	83
4) Homogénéisation de la couche d'interprétation avec les inventaires	84
a) Regroupement des inventaires avec la photo-interprétation	84
b) Regroupement des zones interprétées avec les enveloppes théoriques	87
c) Bilan.....	90

BIBLIOGRAPHIE 92

LEXIQUE 94

**ANNEXE 1 : ANALYSE DES PROBLEMATIQUES
OBSERVEES..... 96**

**ANNEXE 2 : PREPARATION ET STRUCTURATION DES
COUCHES VECTORIELLES 106**

ANNEXE 3 : ANALYSE DU SPECTRE DE LA LUMIERE 109

**ANNEXE 4 : DESCRIPTION DES FACTEURS DE
CARACTERISATION OU PERTURBATEURS DE LA
REPOSE RADIOMETRIQUE 111**

**ANNEXE 5 : REPARTITION PAR DEPARTEMENT DES
RESULTATS DE PHOTO-INTERPRETATION 113**

**ANNEXE 6 : DETAIL DE L'ANALYSE
PHYTOSOCIOLOGIQUE 119**

Préambule

Les zones humides ont un rôle important dans la préservation de la ressource en eau. Elles constituent un patrimoine naturel caractérisé par une grande diversité biologique qui contribue à une gestion équilibrée de la ressource en eau. De par leurs fonctions, elles participent à l'atteinte du bon état des masses d'eau. Cependant, mal connues, mal identifiées, elles sont fortement menacées. Leur superficie et leur qualité ont fortement diminué durant les 30 dernières années. Elles nécessitent à ce titre la mise en place d'une politique de protection et de restauration ambitieuse.

La définition d'une zone humide figure dans l'article L 211 -1 du code de l'environnement : « on entend par zone humide les 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 pendant au moins une partie de l'année ».

La Loi Développement des Territoires Ruraux du 23 février 2005 (loi DTR), par son décret d'application n°2007 -135 du 30 janvier 2007, précise la définition des zones humides énoncée dans la loi sur l'eau de 1992, en indiquant que les critères à retenir sont relatifs à la morphologie des sols liée à la présence prolongée d'eau d'origine naturelle et à la présence éventuelle de plantes hydrophiles et que l'un des deux critères suffit à définir une zone humide. Elle inscrit juridiquement l'intérêt des zones humides en indiquant que leur préservation et leur gestion durable sont d'intérêt général (article L211-1 du CE).

L'arrêté du 24 juin 2008 précise les critères de définition et de délimitation des zones humides. La circulaire DEV O 0813949C du 25 juin 2008 expose les conditions de mise en œuvre des dispositions de cet arrêté.

Le Grenelle de l'environnement renforce l'importance de la préservation des zones humides en tant qu'élément favorisant les continuités écologiques. Les zones humides ayant un rôle pour l'atteinte du bon état sont en effet inscrites dans la trame bleue. Le Grenelle prévoit notamment une préservation sous forme d'acquisition foncière des zones humides les plus remarquables.

I) Résumé

La présente étude s'inscrit dans une démarche qui vise une pré-localisation des zones humides du bassin versant du Loir pour la définition d'orientations de gestion et de préservation de ces milieux dans le cadre du SAGE. Elle vise à disposer d'une connaissance homogène des zones humides probables en identifiant les enveloppes de forte probabilité de présence de ces zones humides, sur la base de méthodes de photo-interprétation. Elle a également pour objectif la mise en place d'une méthode de hiérarchisation de ces enveloppes afin de prioriser les inventaires terrain à réaliser (phase 2).

Dans une première partie, l'ensemble des données existantes susceptibles de contenir des informations sur les zones humides sera analysé et évalué par rapport à leur potentiel à caractériser des zones humides. Dans un second temps, une série de produits mathématiques seront réalisés à partir du MNT et du réseau hydrographique mis à jour pour déterminer des enveloppes théoriques de présence de zones humides. Enfin, l'identification des sols potentiellement hydromorphes à partir des images satellitales ainsi que des orthophotos complétera la base de données avant la fusion et la structuration de celle-ci.

II) Synthèse des données existantes

Toutes les données exogènes recueillies ont fait l'objet d'une analyse afin d'extraire les informations les plus pertinentes concernant les critères relatifs aux zones humides.

L'analyse de la pertinence du résultat de cette analyse a été effectuée sur l'ensemble du territoire du SAGE. Ces données ont ensuite été compilées sous Système d'Information Géographique (SIG).

1) Méthode d'analyse

A) Le géoréférencement

Toutes les données fournies ont été transformées et géoréférencées sous un format récupérable sous Système d'Information Géographique, en majorité sous forme de vecteur¹. Pour l'analyse et la délimitation des enveloppes d'alerte potentiellement humides, toutes les données ont été intégrées et traitées sous S.I.G. Elles ont été contrôlées par rapport à leur géoréférencement. L'analyse a montré qu'elles n'étaient pas toutes géoréférencées de la même manière. Ces données ont donc été homogénéisées afin qu'elles soient toutes dans le même système de géoréférencement à savoir la projection Lambert II étendue — NTF et Lambert 93- RGF93. Ce travail a été réalisé avec le logiciel TNT Mips de MicroImages qui constitue un outil idéal pour produire et contrôler différentes couches vectorielles.

B) Traitement des données

Chaque donnée est renseignée par le biais d'une ou plusieurs tables attributaires. Différents tests ont été effectués à partir de critères issus des données descriptives et à partir de requêtes spatiales afin d'analyser la pertinence de chaque donnée.

¹ Vecteur : Couche d'information numérique constituée de lignes décrites par des points successifs qui forment la représentation cartographique d'une information.

Les données exogènes analysées sont de quatre types :

- Données exogènes définies par des critères de végétation
- Données exogènes relatives à l'eau
- Données exogènes définies par d'autres critères par exemple les données historiques sur les plans d'eau extraits des cartes de Cassini
- Données issues de traitement d'autres données comme par exemple les données « IBK² » extraites du MNT (Modèle Numérique de terrain) ou les données relatives au réseau hydrographique.

2) Les données exogènes de délimitation à l'aide de critères de végétation

Ces données sont généralement issues de photo-interprétation, mais quelques-unes ont un certain nombre de parcelles vérifiées par une mission terrain. Quoi qu'il en soit, la photo-interprétation, comme il sera expliqué dans le chapitre IV, expliquant la méthodologie de réalisation d'une photo-interprétation, n'est pas un inventaire et peut ne pas être confirmé par une observation réelle sur le terrain.

NOTE : le terme « inventaire » utilisé dans la description des couches suivante pourrait paraître inapproprié puisque la plupart d'entre eux ont été réalisés par photo-interprétation. Mais il permet de différencier plus facilement le travail réalisé dans cette étude des couches d'informations mises à disposition de l'étude.

A) Les données du PNR du Perche

Le PNR du Perche a procédé à un inventaire de zones humides sur son territoire. Cette base de données vectorielle est basée essentiellement sur la photo-interprétation. Les orthophotos utilisées pour la photo-interprétation sont celles de la BD ORTHO de l'IGN. Des données complémentaires comme le Scan25, la DB Carthage, les cartes géologiques et quelques inventaires existants ont été utilisés pour la réalisation de cette base. La photo-interprétation a été réalisée préférentiellement à l'échelle de sous-bassins versants.

² IBK : Indice Beven-Kirkby est une cartographie représentant le résultat d'un calcul mathématique de la capacité d'une zone à accumuler de l'eau. Cette représentation permet d'estimer la probabilité de présence de zones humides dans ces zones.

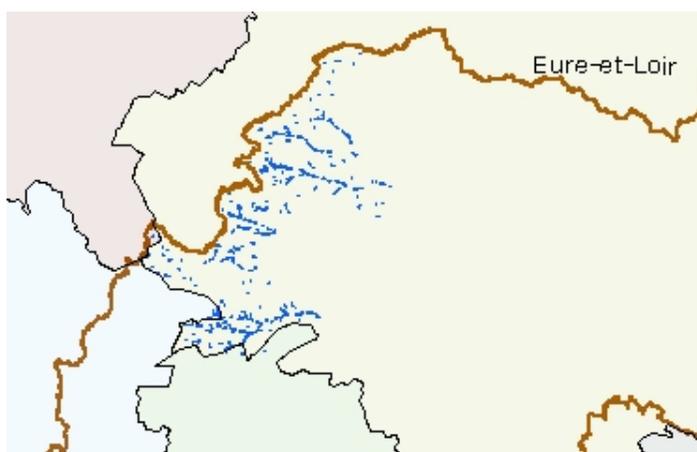


fig. 1) Illustration de l'emprise de l'inventaire du Perche

La typologie est basée sur la photo-interprétation et reste donc succincte, elle est définie sur 10 types de zones humides:

1 : Plan d'eau 2 : Boisement humide 3 : Zone humide en culture 4 : Prairie humide 5 : Friches humides 6 : Zone antérieurement humide 7 : Remblais 10 : Zone de marais (8 et 9 non présents)

À cela s'ajoute un indice de confiance de 1 à 5, indiqué par le photo interprète selon son appréciation du doute sur l'identification de la zone qu'il vient de délimiter.

CODE_TYPO	IND_CONF	DIAGNOSTIC
4.000000000000	2.000000000000	PHOTO-INTERPRETATION
4.000000000000	2.000000000000	PHOTO-INTERPRETATION
4.000000000000	2.000000000000	PHOTO-INTERPRETATION
5.000000000000	2.000000000000	PHOTO-INTERPRETATION
4.000000000000	2.000000000000	PHOTO-INTERPRETATION
5.000000000000	2.000000000000	PHOTO-INTERPRETATION

fig. 2) Illustration de la structure de la table attributaire de la couche d'inventaire

L'indice est renseigné pour chaque zone humide. Il traduit le degré de fiabilité de la zone concernée par rapport à sa nature ou à sa délimitation.

- 1 : Très fiable, très peu de doute possible
- 2 : Assez fiable, peu de doute possible
- 3 : Moyennement fiable, douteux
- 4 : Zones humides « logiques »
- 5 : Peu fiable, très douteux

B) La prélocalisation des zones humides et plans d'eau de la DREAL Pays-de-la-Loire

La DREAL Pays de la Loire a procédé à des études de pré-localisation des zones humides sur son territoire dans les départements de la Sarthe et dernièrement du Maine-et-Loire.

Département de la Sarthe :

Cette base de données vectorielle est basée essentiellement sur la photo-interprétation de la BD ORTHO de l'IGN. Des données complémentaires comme le Scan25, la DB Carthage, les cartes géologiques ont été utilisés pour la réalisation de cette base.

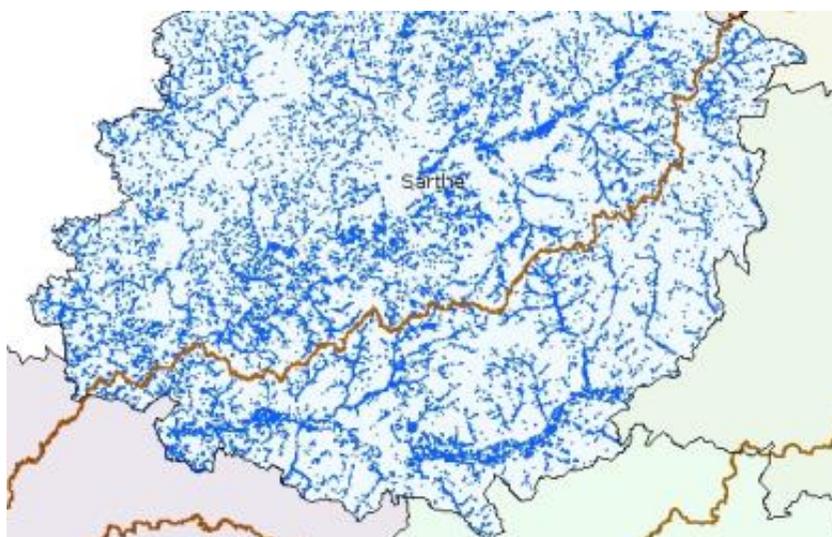


fig. 3) Illustration de l'emprise de l'inventaire de la Sarthe

type_ZH	ind_conf	diagnostic
10	1	photo-interprétation

fig. 4) Illustration de la structure de la table attributaire de la couche d'inventaire

La typologie, basée sur la photo-interprétation, est donc simple. Elle est définie sur 10 types de zones humides:

1 : Plan d'eau 2 : Boisement humide 3 : Zone humide en culture 4 : Prairie humide 5 : Fiches humides 6 : Zone antérieurement humide 7 : Remblais 10 : Zone de marais (8 et 9 non présents)

À cela s'ajoute un indice de confiance de 1 à 5

Il est renseigné pour chaque zone humide. Il traduit le degré de fiabilité de la zone concernée par rapport à sa nature ou à sa délimitation.

1 : Très fiable, très peu de doute possible

2 : Assez fiable, peu de doute possible

3 : Moyennement fiable, douteux

4 : Zones humides « logiques »

5 : Peu fiable, très douteux

Département du Maine-et-Loire :

Cette base de donnée vectorielle est basée sur de la photo-interprétation, mais sa version définitive s'est terminée après la réalisation de la phase 1 de la prélocalisation sur le Bassin du Loir. La donnée étant provisoire au moment de la photo-interprétation, elle n'a été utilisée qu'à titre de support pour la photo-interprétation.

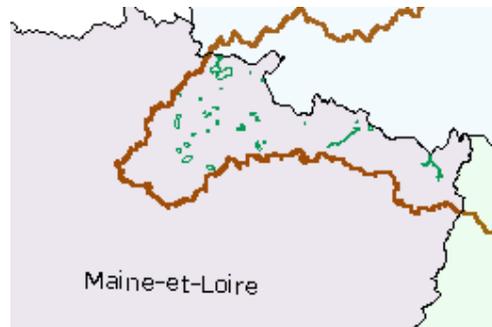


fig. 5) Illustration de l'emprise de l'inventaire provisoire des zones humides du Maine-et-Loire

La version définitive est maintenant prête et sera mise à disposition prochainement. Son intégration dans la base de données de prélocalisation du SAGE Loir finalisée, pourra se faire avant la livraison. Il s'agira d'analyser l'apport de cette couche d'information et de l'intégrer plus ou moins partiellement à la couche de pré-localisation existante.

C) La Cartographie d'occupation du sol de la DDAF d'Indre et Loire

Le DDAF d'Indre et Loire a procédé à un inventaire de zones humides sur son territoire. Cette base de données vectorielle est basée sur de la photo-interprétation et des missions de terrain.



fig. 6) Illustration de l'emprise de l'inventaire de la DDAF 37

CodeCorineBiotopes	Num_ZHBDD	Num_ZH	Code_Corine_sir
53.14A	0370THEMA0214	ZH299	53
53.14A	0370THEMA0214	ZH299	53
53.14A	0370THEMA0251	ZH307bis	53
53.14A	0370THEMA0399	LAL39	53
53.14A	0370THEMA0399	LAL39	53
53.14A	0370THEMA0118	LAL9	53

fig. 7) Illustration de la typologie est basée sur plusieurs références dont celle retenue est le Corine Biotope.

Une corrélation avec les critères Corine Biotope de l'Arrêté du 24 juin 2008 pour la définition des zones humides et potentiellement humides a été faite afin de sortir ces deux classes de cette couche d'information.

CD_CB	LEGIS	NIVEAU	LB_CB97_FR
33	NH	2	Phryganes
33.1	NH	3	Phryganes ouest méditerranéennes des sommets de falaises
33.11	NH	4	Phryganes de la Provence calcaire
33.12	NH	4	Phryganes de la Provence cristalline
33.13	NH	4	Phryganes du Cap Corse
33.14	NH	4	Phryganes du détroit de Bonifacio
33.9	NH	3	Phryganes cyrno-sardes à Genista
34	PH	2	Pelouses calcicoles sèches et steppes
34.1	NH	3	Pelouses pionnières médio-européennes
34.11	NH	4	Pelouses médio-européennes sur débris rocheux

fig. 8) Illustration de la relation avec la nomenclature Corine Biotope permet de sélectionner les entités à caractère humide ou potentiellement humide.

D) Les données ZNIEFF 49, NATURA 2000, ...

Les zones ZNIEFF (Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique Faunistique ou Floristique) et les zones Natura 2000 sont composées de milieux hétérogènes ou la composante zones humides n'est pas forcément mise en avant. Un premier travail de sélection basé sur le critère humide dans la dénomination a été effectué tout en regardant la délimitation qui comprend souvent d'autres milieux. Cette information est rattachée au parcellaire ce qui implique que les limites ne sont pas toujours optimales, d'autant qu'elles ont été réalisées au 1/5000.



fig. 9) Illustration de la délimitations rattachées au parcellaire sans tenir compte des parties à caractère humide réel dans ces parcelles.



fig. 10) Illustration des délimitations ZNIEFF I et II



fig. 11) Illustration des délimitations ZPS, NATURA 2000, ZICO, RAMSAR...

Ces données n'ont pas été utilisées dans la phase 1 de l'étude, car elles n'apportent qu'une information fragmentaire et floue. De plus, ce sont des zones où il est facile de repérer sur la BD ORTHO et les images satellitales le caractère humide.

3) Les données exogènes relatives à l'eau

A) Les données des inventaires des mares et plans d'eau du Maine-et-Loire et de la Sarthe

Un inventaire des plans d'eau et des mares sur le territoire du Maine-et-Loire et de la Sarthe a été mis à disposition de l'étude. Cette base de données vectorielle polygonale est basée sur de la photo-interprétation probablement complétée par des missions de terrain, car elle est exhaustive et indique parfois la présence de mare sous couvert arboré, impossible à détecter par photo-interprétation.

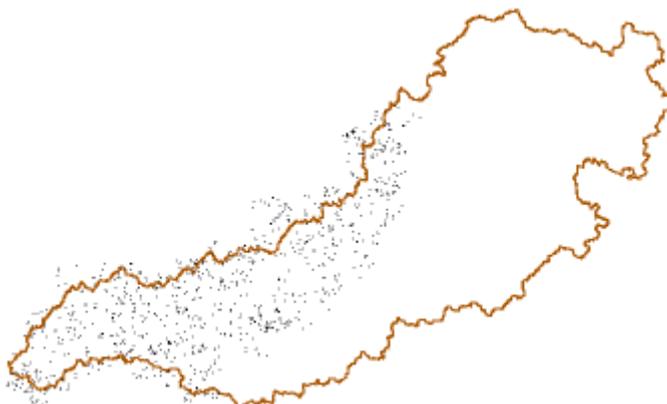


fig. 12) Illustration de l'emprise de l'inventaire des plans d'eau et mares du Maine-et-Loire et de la Sarthe

B) L'inventaire du conservatoire d'Eure et Loir des mares et plan d'eau

Le conservatoire d'Eure et Loir a procédé à un inventaire des plans d'eau et des mares sur son territoire. Cette base de données vectorielle ponctuelle est probablement basée sur de la photo-interprétation complétée par des missions de terrain, car elle est exhaustive et indique parfois la présence de mares sous couvert arboré, impossibles à détecter par photo-interprétation. Toutefois, à l'échelle de travail de cette étude (1/5000), on observe quelques mauvais positionnements des points, ce qui laisse supposer que le pointé s'est fait à une échelle plus grande.



fig. 13) Illustration de l'emprise de l'inventaire des plans d'eau et mares d'Eure et Loir

Cet inventaire sous forme de points n'est pas intégrable directement, car il indique les plans d'eau, mais ne les délimite pas. Il a donc été utilisé comme information visuelle complémentaire lors de la mise à jour de la couche plans d'eau de la BD TOPO. L'intégralité des informations n'a pas été récupérée, car elle indique parfois des éléments de trop petite surface ou dont le caractère artificiel ne correspond pas aux critères que nous nous sommes fixés pour l'étude.



fig. 14) Illustration de l'indication des plans d'eau sous forme ponctuelle

C) Les données de la BD TOPO de l'IGN

La BD TOPO a été réalisée par photo-interprétation des photographies aériennes de la BD ORTHO. La couche hydrographique de la BD TOPO comprend les plans d'eau, les cours d'eau, les infrastructures (barrages, puits, etc.), les talus, les levées... Les couches SURFACE_EAU et TRONCONS_EAU de la BD TOPO ne sont pas utilisables en l'état. Elles contiennent des éléments qu'il faut écarter et d'autres éléments qu'il faut compléter. Dans le cadre de cette étude, ce sont essentiellement les cours d'eau et plans d'eau qui seront utilisés. A cet effet, l'ensemble des couches fournies, généralement sur un découpage départemental, a été assemblée avant mise à jour et nettoyage.

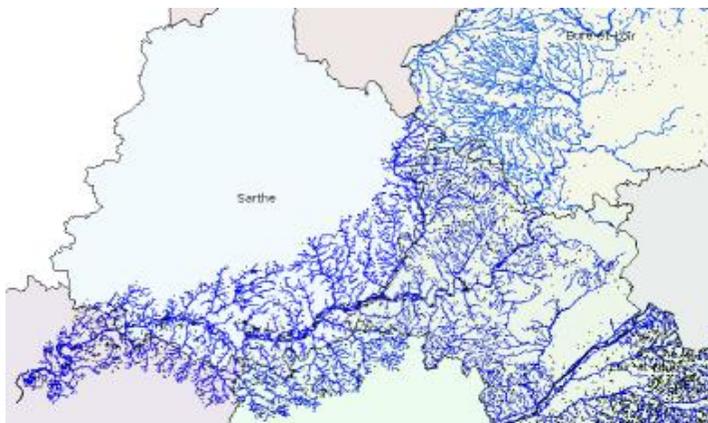


fig. 15) Illustration de l'assemblage des différentes BD TOPO des départements composant le SAGE Loir

Selon les départements, les dates de mises à jour sont différentes. Il y a également des erreurs, des oublis et des contours modifiés avec le temps (gravières). Un travail complémentaire de photo-interprétation est donc nécessaire pour corriger et homogénéiser cette couche d'information.

a) Les plans d'eau

Les plans d'eau sont majoritairement cartographiés à partir de couche SURFACE_EAU de la BD TOPO, car la BD Carthage est beaucoup moins exhaustive que la BD TOPO au niveau des plans d'eau. Elle ne permet pas de distinguer les gravières des sablières. Cette couche contient des éléments qu'il faut écarter, car sans rapport avec les surfaces en eau naturelles.

b) Les cours d'eau

Le réseau hydrographique est composé des cours d'eau et drains. C'est une information essentielle pour identifier les secteurs ayant une forte probabilité de présence de zones humides. Le maximum d'informations a donc été utilisé pour produire une couche cohérente et pertinente.

Le réseau hydrographique est majoritairement cartographié dans la couche TRONCONS_EAU de la BD TOPO, mais une partie du réseau, et notamment l'emprise du Loir se trouve dans la couche SURFACE_EAU car les deux berges sont délimitées.

D) Les données de la BD Carthage

La BD Carthage est une information complémentaire ce qui est normal puisque sa trame est basée sur la BD TOPO et qu'elle a été enrichie par la suite par divers organismes à une échelle du 1/50 000. Elle n'est pas aussi précise au niveau du tracé, mais elle est en revanche mieux structurée. Elle recoupe en grande partie la BD TOPO, mais le réseau est hiérarchisé, avec un sens d'écoulement et une logique de rattachement ce qui n'est pas le cas sur la BD TOPO.

C'est essentiellement les cours d'eau de cette base de données qui seront utilisés. Il s'agit de compléter la BD TOPO qui est plus exhaustive, mais discontinue. L'avantage de la BD Carthage est que le réseau a été complété pour obtenir une continuité. Ce travail réalisé au 1/50 000 explique pourquoi le tracé du réseau est beaucoup plus imprécis que celui de la BD TOPO.

4) Les données exogènes définies sur le critère pédologique

A) Inventaire des étangs de CASSINI

La Carte de France dite "Carte de Cassini" doit son nom à une lignée d'astronomes et de géographes d'origine italienne qui s'installent en France dans le dernier tiers du XVIIe siècle. Lancée sous les auspices de l'Académie des Sciences en 1747, elle résulte du travail opiniâtre d'une succession de savants et d'ingénieurs qui, pendant un siècle et demi, vont

s'employer à mettre au point de nouvelles méthodes de relevés tel que le demande un pays aussi vaste que la France. (Source site Internet du Laboratoire de démographie historique - École des hautes études en sciences sociales).



fig. 16) Extrait d'une carte de Cassini

L'utilisation de la triangulation comme méthode de mesure des distances conférait à ce travail une grande précision sans précédent et fut la première grande enquête toponymique nationale. La « carte de Cassini » est constituée d'un ensemble de 181 feuilles à l'échelle du 1/86 400. Les cartes numériques couvrant le bassin du Loir ont été géoréférencées sur la BD ORTHO.

Sur ces cartes ont été relevés en particulier tous les étangs. Y figurent aussi les informations relevant de la localisation des marais. Malheureusement, le figuré utilisé n'a pas permis de le distinguer d'autres figurés et donc de l'isoler. Seuls les étangs ont été délimités et constituent une couche d'information SIG.

Cette information est loin d'être négligeable. La plupart de ces étangs n'existent plus aujourd'hui. Mais cette localisation historique constitue une information sur les zones où il existe une potentialité de zones humides. Selon l'INRA, même si l'étang n'existe plus, d'un point de vue pédologique, des traces d'oxydoréductions doivent être présentes encore dans les sols (communication personnelle).

Bien que ces cartes fassent preuve d'une très grande précision géographique pour l'époque, il existe néanmoins des décalages. Afin de pallier au décalage géographique entre ces cartes et la BD ORTHO, les étangs ont été repositionnés plus précisément par rapport à la BD ORTHO et la BD TOPO en tenant compte de la topographie.

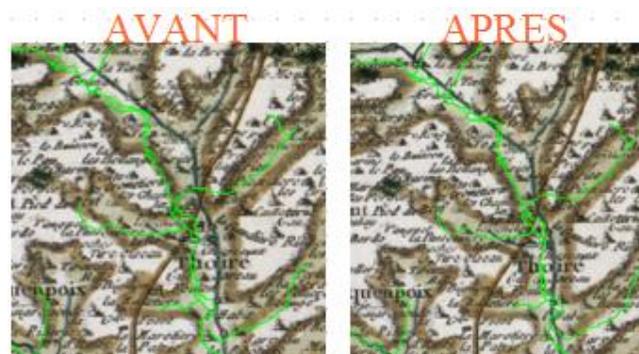


fig. 17) Illustration du recalage des cartes de Cassini sur la BD TOPO

Les décalages importants sur les cartes de Cassini nécessitent parfois de retrouver le site plus par la topographie que par les indications cartographiques. Le repositionnement s'effectue à l'aide du MNT, comme dans l'exemple ci-dessous, permettant de dessiner les limites de l'étang en corrélation avec la topographie.

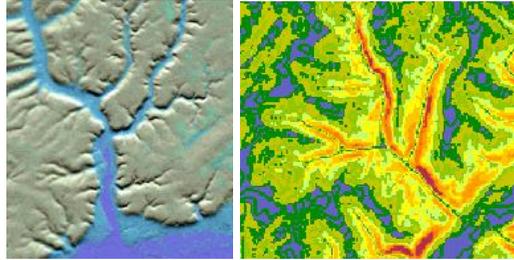


fig. 18) Illustration de la génération d'ombrages et de pentes du MNT pour l'aide au repositionnement des étangs de Cassini



fig. 19) Illustration de délimitation et repositionnement par rapport à la BD ORTHO et le MNT d'étangs représentés sur la carte Cassini

Il a également été identifié sur ces cartes des cours d'eau qui ont été asséchés ou détournés. Ces cours d'eau ont alors été récupérés sous forme vectorielle en linéaire.

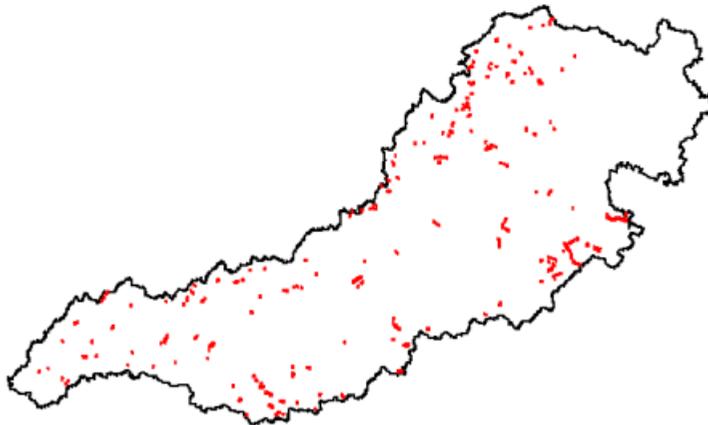


fig. 20) Illustration de la couche complète de Cassini qui comprend 206 étangs et 10 linéaires

B) Autres données

L'ensemble du SAGE Loir est couvert par des données géologiques. Cependant, l'échelle de ces cartes est trop petite pour une exploitation de ces données dans le cadre de l'étude. De plus, même si l'interaction entre la surface et la géologie est évidente, beaucoup de facteurs interviennent et rendent difficile l'exploitation de cette donnée. L'épaisseur du sol est notamment un facteur clé, mais elle n'est pas disponible. À ce jour, aucune donnée cartographique pédologique n'a été collectée sur la zone.

5) Les données issues de traitements de données

A) L'indice IBK

Cette partie du traitement avait préalablement été réalisée par Alexandre DELAUNAY, actuel animateur de la Commission Locale de l'Eau du SAGE du bassin versant du Loir. Une partie de ce chapitre résume son travail et fait référence au document de présentation « Etude Zones Humides – analyse topographique ».

a) Le Modèle numérique de terrain (MNT)

Le MNT utilisé pour l'étude est le MNT issu de la BD TOPO, c'est-à-dire qu'il s'agit d'une interpolation des courbes de niveau présentes sur le scan25. Le pas du MNT est de 25 mètres ce qui ne signifie pas qu'il existe une mesure tous les 25 mètres, mais qu'une interpolation des valeurs est faite tous les 25 mètres, soit deux fois pour des courbes espacées de 80 mètres par exemple.

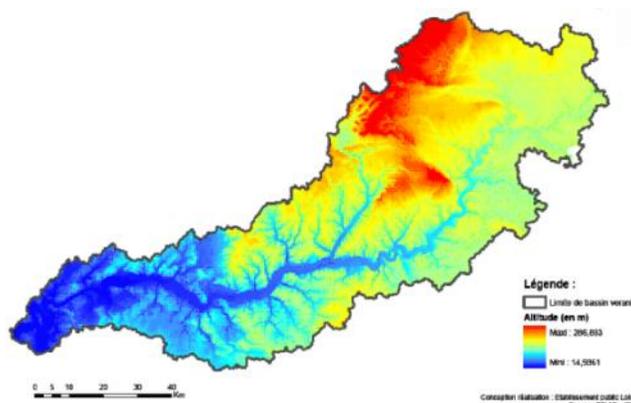


fig. 21) Illustration du MNT sur le bassin du loir

La conséquence d'un MNT généré par interpolation de courbes de niveau est que sur les zones avec peu de relief, malgré les courbes avec une équidistance de 5 mètres et la présence parfois de courbes intermédiaires à 2.5 mètres, la distance entre les courbes peut être importante. Le MNT IGN étant généré en entier et non en réel, il y a formation de surfaces planes entre les courbes telles que l'on peut les observer sur l'exemple ci-dessous. On observe une structure en marche d'escalier formée d'une succession de valeurs égales suivie d'un saut de valeurs. De plus, les petites dépressions (< 2.5 m de dénivelé) ne sont pas identifiées dans le MNT

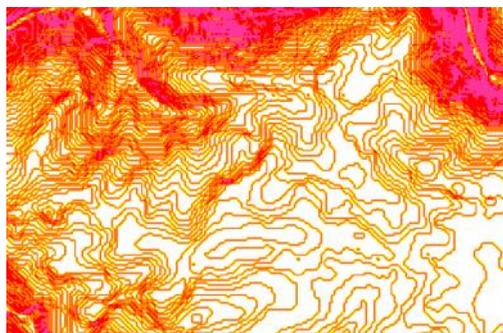


fig. 22) Illustration de la génération des pentes sur le MNT qui montre bien les plages homogènes suivies par les sauts de valeurs en marche d'escalier.

Le MNT présente par ailleurs des artefacts de deux sortes :

- Les premiers correspondent à des erreurs plus ou moins ponctuelles, ou à des anomalies liées à l'intégration d'aplats sur des zones où l'on a des plans d'eau par exemple.
- Les seconds sont des extrusions ou creusements linéaires liés à la présence d'une route / autoroute ou d'une ligne de chemin de fer. Ces reliefs peuvent refléter la réalité topographique, mais dans ce contexte d'analyse du réseau hydrographique, ils sont gênants, car ils perturbent les écoulements théoriques et les pentes.



fig. 23) Illustration d'un ombrage généré sur MNT IGN 25 m qui montre les sauts de valeurs dont la trace correspond parfaitement aux courbes de niveau du SCAN25.

Le résultat direct de toutes ces remarques, est que le calcul des pentes sur ce MNT donne un résultat inexploitable en l'état. En effet, les pentes calculées d'un pixel au suivant ne reflètent pas la réalité.

Sur l'exemple ci-dessous, on voit que sur 5 pixels de 25 mètres de large, si le dernier pixel présente un dénivelé de 2 mètres par rapport aux 4

autres, les 3 premières pentes relatives (en rouges) calculées ($\sin(\text{angle}) = \text{dénivelé}/\text{distance}$) sont égales à 0 et la dernière égale à 4.58° alors que la pente réelle (en vert) devrait être de 1.14° pour les 4 valeurs.

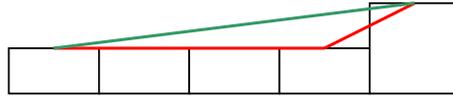


fig. 24) Schéma de deux types d'interpolation de la pente en fonction du point d'origine

S'agissant de surfaces relativement planes sur les plateaux ou le fonds de vallées par exemple, cela pose un problème, car l'indice topographique qui sera calculé par la suite, héritera des artefacts de pente du MNT

b) Notion d'indice Beven-Kirkby

L'indice de Beven-Kirkby, du nom de son inventeur, est un modèle de calcul sur une surface numérique. Il s'agit d'un indice topographique d'estimation de la position des sols potentiellement saturés en eau (sols hydromorphes). Il représente la capacité d'un point à accumuler de l'eau en fonction de la quantité d'eau qui s'y déverse et qui s'en échappe. Un indice élevé correspond à une forte probabilité de présence de zones humides.

Deux hypothèses :

- 1 – les zones humides sont situées préférentiellement sur les sols hydromorphes
- 2 – les ruptures de pente et la surface drainée à l'amont indiquent la présence de sols hydromorphes

Formule : $IBK = \ln(a / \tan(b))$

a = surface drainée au point considéré

b = pente

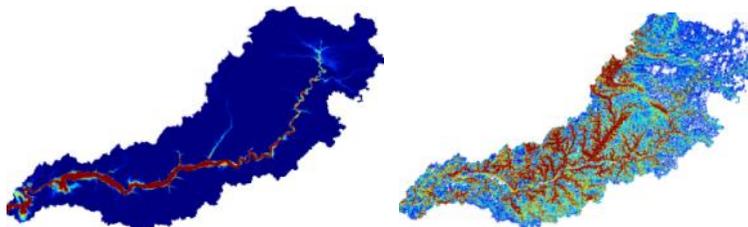


fig. 25) Schéma du calcul appliqué aux pentes et surfaces drainées pour obtenir l'IBK

L'indice topographique de Beven-Kirkby (IBK) permet de mettre en évidence des zones où la probabilité d'avoir une zone humide est importante. C'est une combinaison de la pente et de la surface drainée qui permet de déterminer là où l'eau a le plus de probabilité de rester plus ou moins temporairement

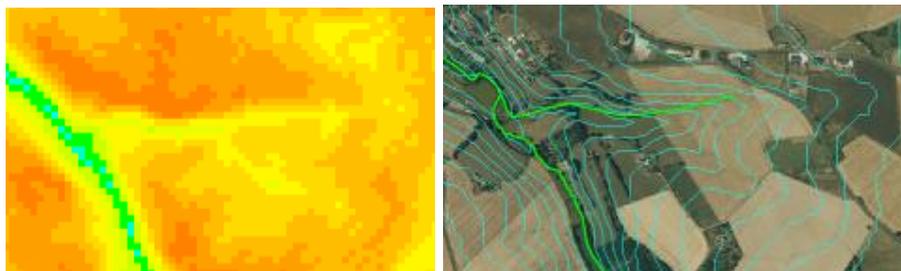


fig. 26) Illustration comparative entre l'IBK et les courbes de niveau sur fond de BD ORTHO

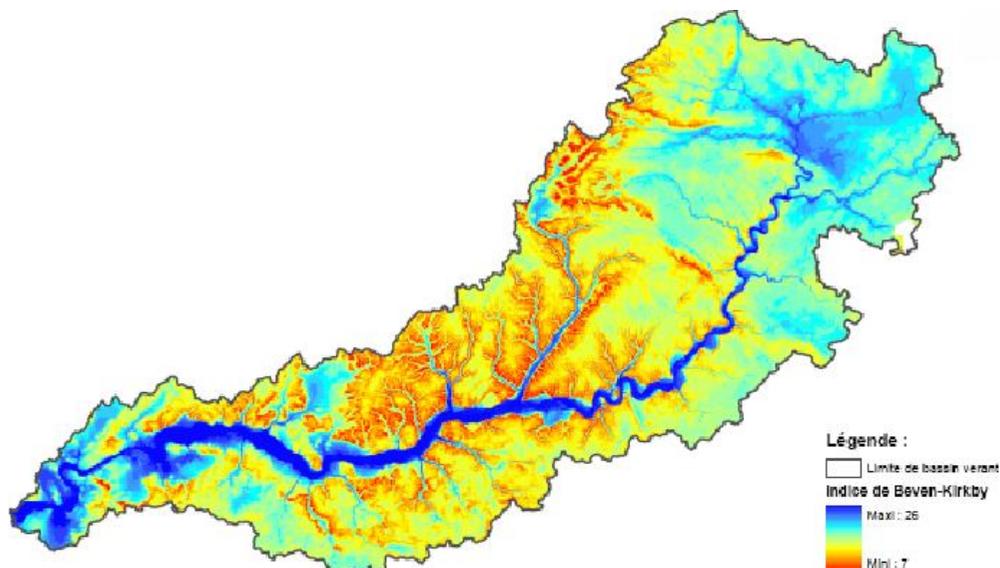


fig. 27) Carte de l'Indice topographique de Beven-Kirkby (IBK)

c) Exploitation de l'IBK

Il s'agit maintenant de déterminer les seuils de valeurs qui vont permettre de différencier le potentiel des zones à contenir des zones humides. Pour cela, il est nécessaire de partir d'informations sur la position réelle de zone humide et par comparaison, analyser les valeurs de l'IBK qui correspondent à ces zones. Dans un premier temps, l'inventaire des zones humides de la Sarthe a été utilisé pour faire cette corrélation. Dans un second temps, l'indice sera comparé aux enquêtes de terrain réalisées pour l'étude. Le résultat de ce croisement de données réalisé par le SAGE Loir est le suivant :

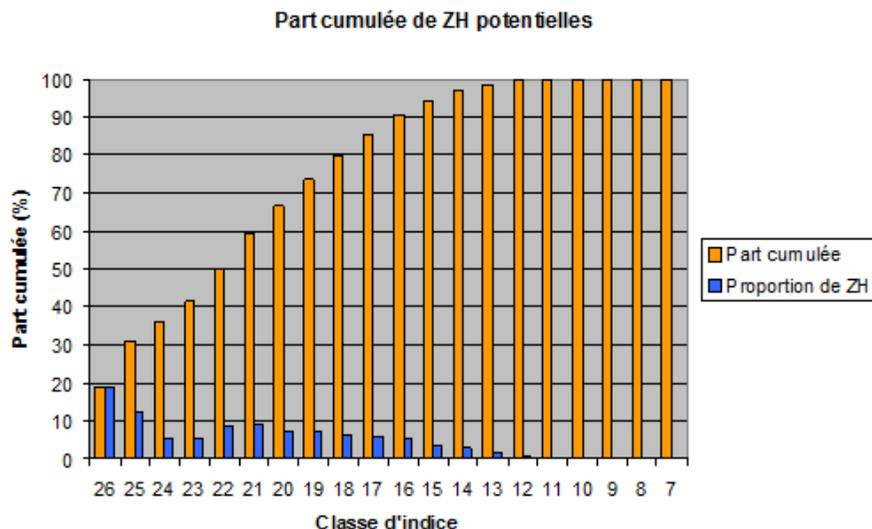


fig. 28) Graphique de l'histogramme cumulé de la part des zones humides dans les classes d'indices

Les seuils identifiés pour la probabilité de présence de zones humides sont

Seuil de probabilité moyenne : 80% des zones humides prélocalisées sont prises en compte jusqu'à la classe 17 incluse

Seuil de probabilité forte : Environ 50% de la surface de zones humides prélocalisées sur ce secteur est comprise entre les classes 26 et 21

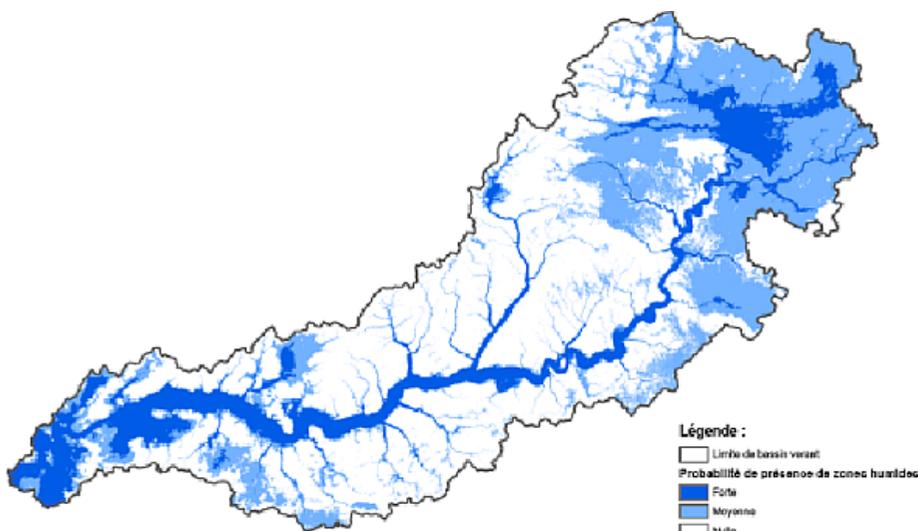


fig. 29) Carte des probabilités de présence de zones humides du moins probable (blanc) au plus probable (bleu foncé)

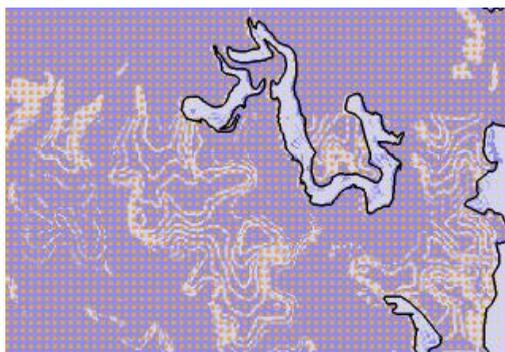
Toutefois, la méthode présente quelques limites :

- Il y a des problèmes d'identification de ZH perchées (d'origine géologique et non topographique).
- On observe une sous-estimation des zones humides dans les secteurs de vallées étroites.
- La proximité aux cours d'eau est un facteur déterminant.

Il est important de se rappeler que ce produit mathématique est directement lié à la qualité et la précision du MNT sur lequel il est calculé. Son utilisation ne peut être autre que l'indication d'une probabilité de présence, mais ne prend pas en compte le contexte de la zone. Ainsi, dans la partie nord-est, la probabilité est forte, mais dans les faits, la zone étant majoritairement agricole, on y trouve peu de zones humides. Le produit est donc une aide à la photo-interprétation, mais reste théorique.

Vectorisation et nettoyage

Le travail suivant consiste en un nettoyage manuel de la carte d'IBK en enlevant les plages de faibles pentes (entre 0 et 2 °) non caractéristiques de la réalité en se basant sur les courbes, les ombrages et les réseaux hydrographiques.



En fond, IBK brut, en noir, les limites redéfinies manuellement

fig. 30) Illustration de la re-délimitation manuelle pour éliminer les effets de courbes de niveau.

B) Création d'une enveloppe d'alerte autour du réseau hydrographique linéaire et surfacique

a) Préparation et mise à jour de la couche hydrographique

La première étape consiste à trier les informations attributaires de la couche BD TOPO « TRONCONS_EAU » afin d'en extraire l'information utile. La BD TOPO est représentative de ce qui est visible y compris l'artificiel. Dans un souci de potentialité d'utilisation du réseau en tant que tel, des éléments ont été ajoutés sans qu'ils ne reflètent de réels éléments sur la BD ORTHO. Il s'agit des éléments :

- Artificialisé : il s'agit essentiellement des canaux et d'une partie des fossés.

- Fictif : Ils sont représentés par un trait généralement rectiligne tracé entre deux parties de réseau hydrographique. On les trouve dans les surfaces en eau (au milieu des rivières) pour matérialiser un écoulement linéaire, ou lorsqu'un réseau hydrographique disparaît pour réapparaître plus loin. Il est à noter qu'un tronçon peut être à la fois fictif et artificialisé.

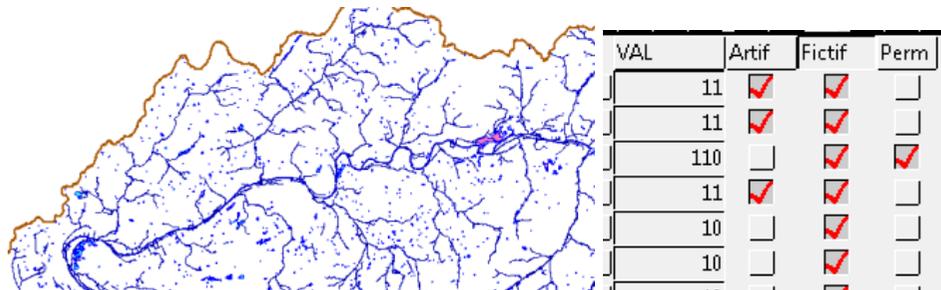


fig. 31) Illustration de la sélection des tronçons par champs attributaire ce qui élimine une majorité d'entités non exploitables dans l'étude.

Les deux champs de la couche TRONCONS_EAU, sont à prendre en compte pour éliminer une partie de l'information. Il est clair qu'il est nécessaire d'éliminer les tronçons fictifs avant d'analyser le réseau hydrographique. Dans le cas contraire, des traitements comme la bufferisation utiliseraient des tronçons sans réelle existence. Chaque tronçon de la couche TRONCONS_EAU possède des attributs propres qui en précisent la nature sans toutefois donner davantage d'information.

La seconde étape consiste à trier les informations attributaires de la couche SURFACE_EAU afin d'en extraire l'information utile. Les franges des plans d'eau, des étangs tout comme les mares peuvent abriter des habitats de zones humides. Ce premier tri a donc pour objectif d'éliminer les bassins de rétention des eaux pluviales, les bassins bétonnés industriels qui ont été créés artificiellement avec souvent un objectif d'épuration des eaux.

Chaque polygone de la couche SURFACE_EAU possède des attributs propres qui en précisent la nature sans toutefois donner davantage d'information. Le champ « Nature » contient deux attributs : « bassin » ou « surface en eau ». Ces deux attributs permettent de distinguer les « plans d'eau » selon leur caractère artificiel (avec connotation épuratoire) ou non.

Les bassins à caractère industriel sont globalement éliminés par cette requête sur l'attribut « nature », de même que les bassins bétonnés à caractère purement décoratif ou assimilé. C'est le cas notamment des bassins de station d'épuration qui sont répertoriés comme des bassins.



fig. 32) Illustration d'éléments artificiels répertoriés dans la BD Topo

Les bassins de rétention sont également éliminés s'ils sont isolés par la route ou plastifiés, car ils ne présentent pas d'intérêt écologique du fait de la faible probabilité d'être colonisés par des espèces végétales ou animales. Ils n'ont pas de fonctions épuratoires. Les plans d'eau artificiels de château par exemple, sont aussi éliminés, car entretenus et régulièrement nettoyés.

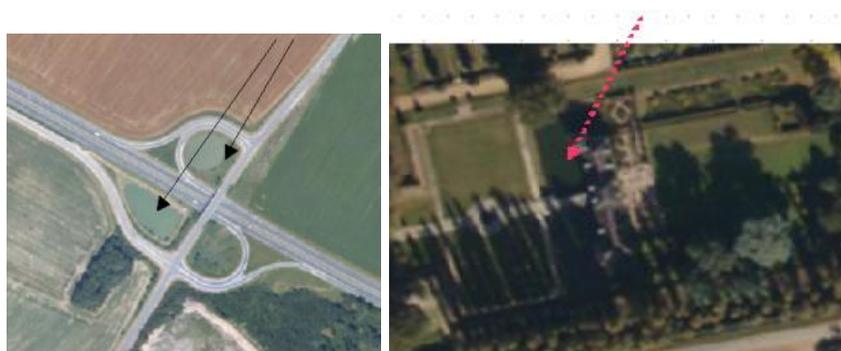


fig. 33) Illustration d'éléments artificiels de type bassin de rétention isolé ou plan d'eau de parc d'agrément.

Le tri des plans d'eau se fait suivant des règles:

- Pas de plan d'eau d'agrément (bassin urbain non végétalisé sur le contour (hors pelouse) plans d'eau des golfs, etc .)
- Pas de bassin de rétention quand il n'est pas végétalisé sur le contour (hors pelouse). Certains de ces bassins retournent plus ou moins à l'état naturel, ils sont alors maintenus dans la base de données.

Les mares creusées par les agriculteurs, bien qu'artificielles, sont caractérisées comme des « surfaces d'eau ». Il est raisonnable d'écartier les plans d'eau situés au cœur des fermes (exemples ci -dessous). Ces plans d'eau sont généralement indiqués dans la BD Topo, mais dans le cadre de notre étude, ils n'ont pas d'intérêt, car:

- ils sont généralement bordés par du sol nu voire induré
- ils sont le plus souvent artificiels et servent à l'exploitation

De plus, générer un buffer autour de ces plans d'eau ferait passer la ferme elle-même en zone potentiellement humide, ce qui n'est évidemment pas le cas.



fig. 34) Illustration de cas de mares et de plans d'eau de fermes

b) Mise à jour de la BD ORTHO et de la BD Carthage

La BD Carthage est une information complémentaire essentiellement pour les cours d'eau. Elle apporte en effet peu d'information sur les plans d'eau et ne permet pas de distinguer les plans d'eau artificiels.

La BD Carthage n'est pas aussi précise au niveau du tracé, elle est en revanche mieux structurée. Ainsi, on remarquera que les tronçons fictifs de la BD Topo sont totalement faux et qu'en revanche ils sont relativement bien placés sur la BD Carthage. De plus, les tronçons de la BD Carthage, même s'ils sont généralement moins bien placés, prolongent souvent le réseau de la BD Topo en dessinant des tronçons pas toujours visibles sur l'image, mais dont on retrouve des traces sur la BD ORTHO. On constate facilement que le tracé de la BD Carthage est moins précis à la même échelle que celle de la BD TOPO qui sera donc utilisée en priorité pour le tracé

Ci-dessous, on constate que la BD TOPO (cyan) et la BD Carthage (bleu) se complètent. En jaune (en haut) on peut voir le résultat de la « fusion » des deux informations. Cette étape est réalisée manuellement afin de garder le tracé le plus juste par rapport à la BD ORTHO et non de faire une simple fusion vectorielle.

La seconde étape consiste à combiner la couche réseau hydrographique de la BD Topo avec celle de la BD Carthage afin d'obtenir un réseau exhaustif et continu.

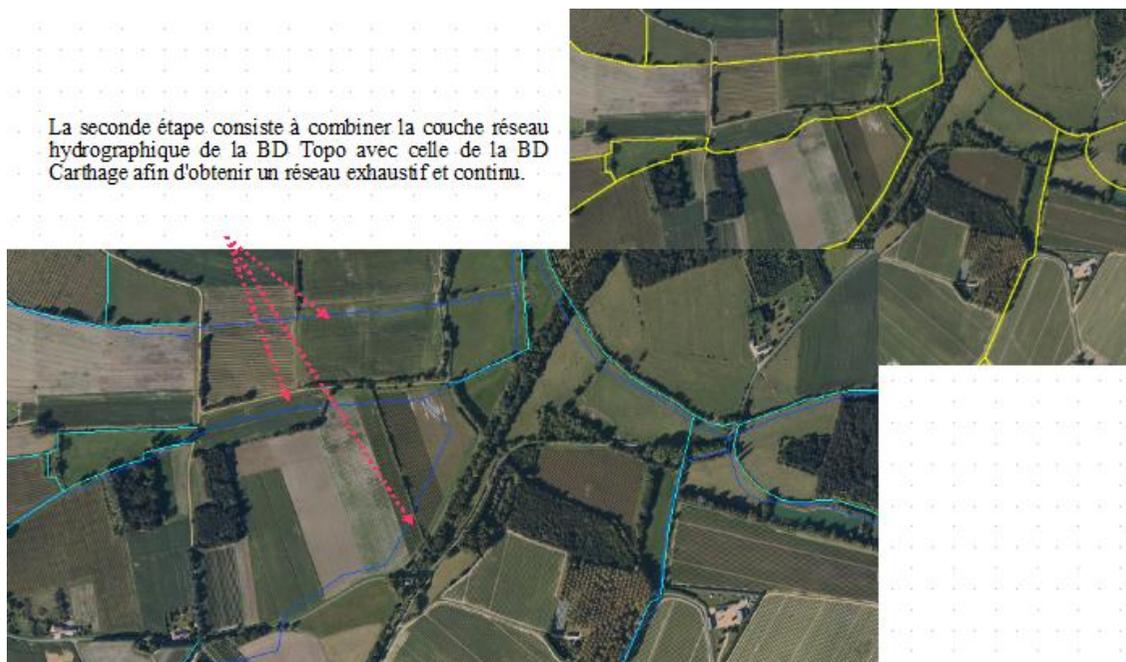


fig. 35) Illustration de la complémentarité de la BD Carthage et de la BD TOPO

Dans l'exemple ci-dessous, on montre dans la première vue que la BD Topo (en violet) n'est que fragmentaire, mais bien calée à l'image, alors que la BD Carthage (en vert) indique la continuité du réseau, mais de façon plus floue. Le travail a donc consisté à garder les éléments de la BD Topo puis de les compléter selon les indications de la DB Carthage tout en recalant le tracé par rapport à l'image.



fig. 36) Illustration de la complémentarité et de la précision de la BD Carthage et de la BD TOPO

Il faut noter que dans les zones forestières, la BD Carthage a parfois été intégrée sans réel repositionnement sur l'image, car dans ces zones avec couvert forestier, il est impossible de distinguer des cours d'eau circulants sous la canopée.



fig. 37) Illustration de l'intégration de la BD Carthage dans les zones forestières

Concernant les plans d'eau, une fois le tri réalisé, le travail consiste en une mise à jour par photo-interprétation sur la base de la BD ORTHO et des images satellitales. En effet, il s'agit souvent de nouveaux plans d'eau non inventoriés dans la BD Topo ou inversement, de plans d'eau ayant disparu.

De plus, les gravières évoluent très rapidement et on remarque dans l'exemple ci-dessous, l'étendue plus importante des plans d'eau sur les images AVNIR (à droite) que sur la BD ORTHO.

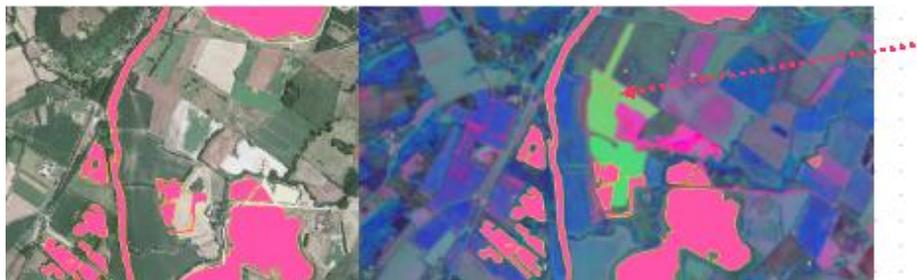


fig. 38) Illustration du problème relatif à la mise à jour des plans d'eau

Les réaménagements de gravières ont beaucoup évolué depuis une dizaine d'années. Si la présence d'un plan d'eau d'extraction ne peut être à l'origine d'une zone humide, certains plans d'eau qui ne sont plus en exploitation et dont les berges sont propices à l'installation de végétaux sont parfois recolonisés par certaines espèces végétales caractéristiques des zones humides selon la législation.

La sélection des gravières dans la couche « surface en eau » ne pose pas de souci dans la mesure où cette information ne servira qu'à créer autour des plans d'eau une couche « présence de zones humides à vérifier ». Elle ne servira pas à l'élaboration de la couche « présence de zones humides ». Une fois mise à jour, la couche contenant les plans d'eau est codée afin de différencier les plans d'eau en exploitation des autres (gravières).

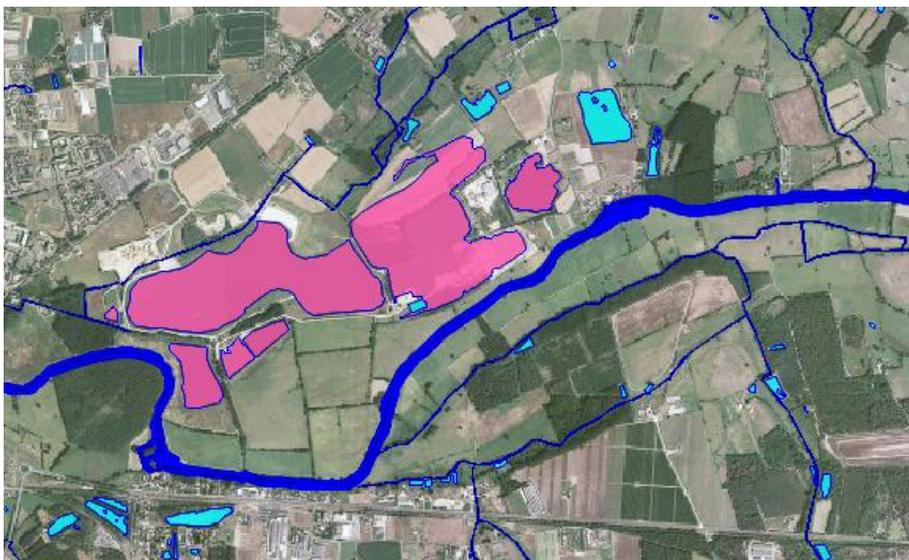


fig. 39) Illustration de la cartographie et distinction des types de plans d'eau.

Enfin, la dernière étape de la mise à jour des plans d'eau a été de passer en revue les plans d'eau et mare des deux inventaires de la Sarthe et de l'Eure et Loir afin de contrôler qu'ils sont bien intégrés dans la couche finale de plan d'eau. Nous avons toutefois fixé une surface minimale de 20 m².

Nomenclature de la couche plans d'eau :

CODE	DESCRIPTION
20	Cours d'eau principal
0	Plan d'eau avec présence potentielle de ZH
50	Plan d'eau de gravière ou carrière encore en activité

fig. 40) Table des codes typologiques des plans d'eau

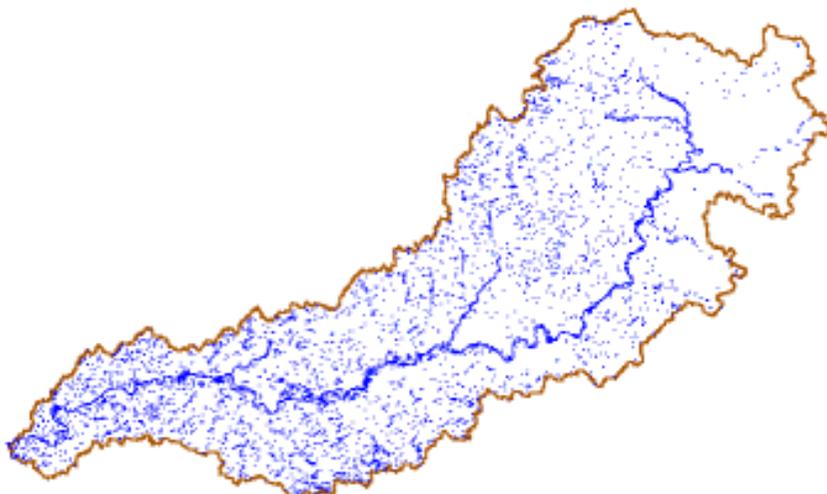


fig. 41) Illustration de la cartographie finale des plans d'eau qui comprend 14 591 polygones de plans d'eau et rivière (surfacique).

NOTE : les plans d'eau écartés pour les besoins de l'étude ont été rassemblés dans une couche vectorielle séparée afin de fournir un complément exhaustif des plans d'eau sur le territoire du SAGE.

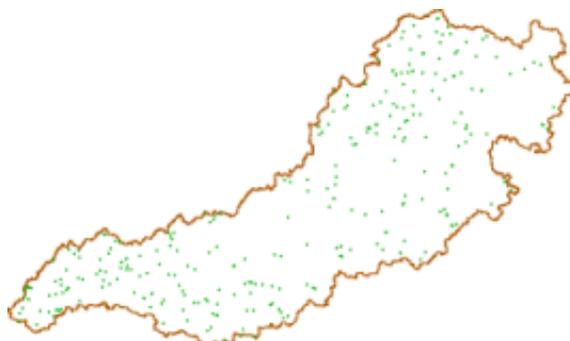


fig. 42) Illustration de la couche complémentaire finale qui comprend 1381 polygones de plans d'eau.

c) Transformation du linéaire en polygonal

L'eau n'étant pas une zone humide, les plans d'eau seront intégrés dans la couche finale d'enveloppes comme classe « non humide ». À cet effet, les cours d'eau ont été transformés en polygones aux endroits où la largeur du réseau n'était pas assez importante pour que la BD TOPO en cartographie les deux bords (buffer). Ainsi on obtient un masque polygonal « eau » comprenant toutes les surfaces et le linéaire. La version du réseau non bufferisée a été également livrée.

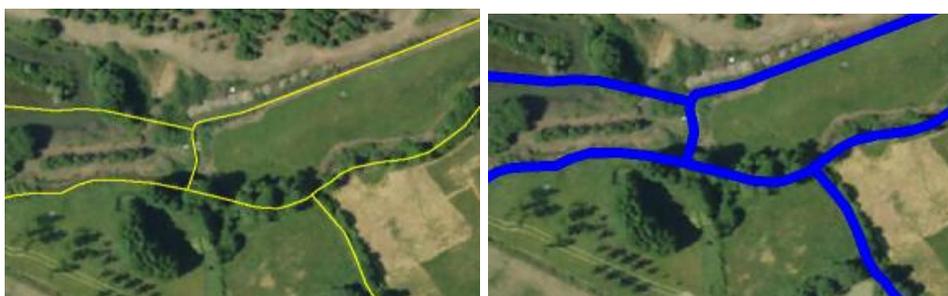


fig. 43) Illustration de la transformation du linéaire en surfacique par un buffer de 2.5 m

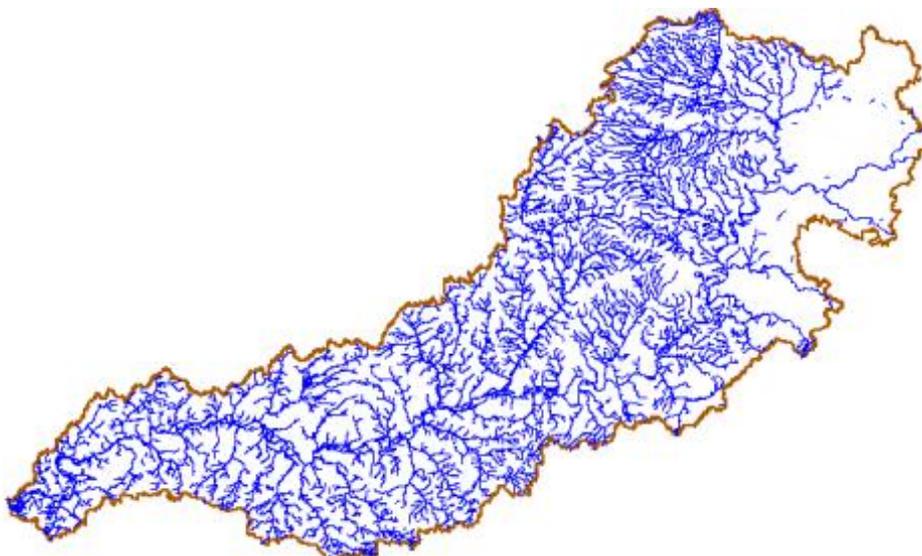


fig. 44) Illustration de la couche polygonale finale du réseau hydrographique qui comprend 1207 polygones de cours d'eau.

Cette couche polygonale est le résultat de la bufferisation des 15 604 tronçons de cours d'eau mis à jour.

d) Secteurs de présence potentielle de zones humides autour du réseau hydrographique linéaire

La méthode consiste, une fois les différents tronçons de réseau extraits et triés, à appliquer un « buffer » (ou zone tampon) autour du réseau hydrographique (cours d'eau). Cependant, une simple « bufferisation³ » d'un réseau n'est pas satisfaisante, car elle ne tient pas compte des autres facteurs comme la topographie. Cet élément est important, car il conditionne la présence de zones humides ce qui n'est pas totalement le cas de la distance à un réseau.

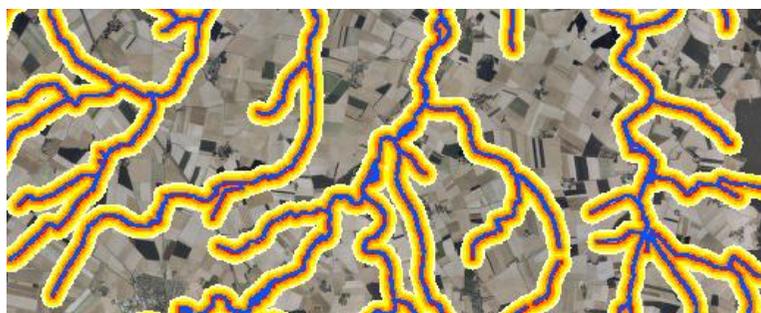


fig. 45) Illustration de la génération du buffer autour du linéaire de réseau hydrographique est un algorithme simple prenant uniquement en compte la distance au réseau.

La première étape consiste en une génération d'un buffer de 250 mètres dont la pertinence devra être validée sur le terrain. On notera toutefois qu'une grande majorité des zones humides des inventaires existants se trouvent dans cette zone tampon de 250 mètres. Au final, une analyse de la corrélation entre la pente et la présence des zones humides d'après les données existantes a permis de définir des tailles de «buffer» provisoires.



En vert, on notera la répartition de quelques inventaires
fig. 46) Illustration de la corrélation entre le buffer et les inventaires de zones humides

Le calcul des distances à un réseau est un procédé itératif qui va déterminer en chaque point la distance au réseau hydrographique le plus proche. Par rapport au réseau hydrographique.

³ Bufferisation : Génération automatique d'une enveloppe vectorielle autour d'un objet (ligne ou surface) selon une distance donnée. On parle également de « zone tampon ».

En ce qui concerne les plans d'eau, le résultat est très variable, car cela dépend beaucoup de l'encaissement. Ainsi, les surfaces en eau de petite taille (mares, étangs) peuvent avoir une plus grande influence qu'un grand plan d'eau. Toutefois, si l'on se base sur le critère pédologique et donc les traces d'oxydoréduction, la campagne de terrain a démontré que dans de bonnes conditions, l'influence s'observe jusqu'à 150 m du plan d'eau. C'est pourquoi il a été décidé de prendre cette base, mais de se limiter aux zones où la pente est inférieure à 2°. Il ne faut pas oublier que la zone de buffer, tout comme l'IBK, donne une enveloppe de probabilité de présence.

Il est préférable d'adapter la taille du « buffer » à la configuration du terrain autour du cours d'eau. Dans la mesure où l'étude s'intéresse à la suspicion de présence de zone humide et non à la définition d'une potentialité d'inondation le débit et la largeur du cours d'eau ne sont pas obligatoirement représentatifs. En effet, un ruisseau sur un plateau peut être entouré d'une très large prairie humide tandis qu'une rivière de fond de vallée peut ne pas avoir de zones humides dans sa proximité. C'est pourquoi un deuxième algorithme est ensuite appliqué au seuillage des distances pour tenir compte de ces paramètres et notamment de la pente

Pente	Distance / cours d'eau	Distance / plans d'eau
0 à 1°	250 m	150 m
2 à 4°	150 m	Rien
5 à 6°	75 m	Rien
> 6°	Rien	Rien

fig. 47) Tableau de méthodologie de calcul de la taille du «buffer» en fonction de la pente

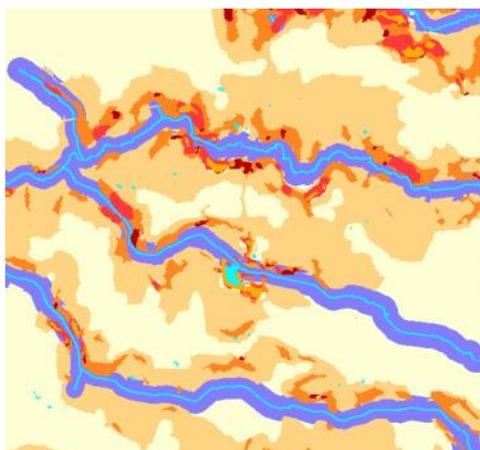


fig. 48) Illustration du résultat du calcul du buffer en fonction de la pente

L'exemple ci-dessus montre une «bufferisation» contrainte par la pente. On considère que le «buffer» a une taille de zéro lorsqu'il est au contact avec une pente supérieure à 6° et qu'il peut s'étendre sur 250 à mètres sur une pente nulle.

6) Campagne de validation terrain

A) Réalisation de la campagne de terrain

L'objectif est de répondre à la question de la pertinence des critères choisis pour les traitements sur MNT et réseaux hydrographiques, ainsi que la délimitation de zones potentiellement humides ». Dans les secteurs où le critère végétation ne s'exprime pas, l'objectif est d'analyser si une interprétation des images satellitales, croisée avec les informations disponibles pourrait être un moyen pour compléter cette information.

Dans un premier temps, une pré-analyse cartographique sur certaines zones a été effectuée pour mettre en évidence les principaux types supposés de zones humides rencontrés. Sur la base de notre expérience en photo-interprétation et des documents exogènes à notre disposition, une première délimitation de zones présentant potentiellement des critères de zones humides a été réalisée.

Nous avons sélectionné 80 polygones sur l'ensemble du territoire. Ces zones d'intérêt correspondent pour chacune à une problématique observée sur les images nécessitant une corrélation avec le terrain.

La mission de terrain a eu lieu du 6 au 10 septembre 2010. Elle avait comme objectif d'effectuer une relation entre la pré-photo-interprétation et la réalité terrain sur les secteurs échantillonnés au niveau botanique et pédologique.

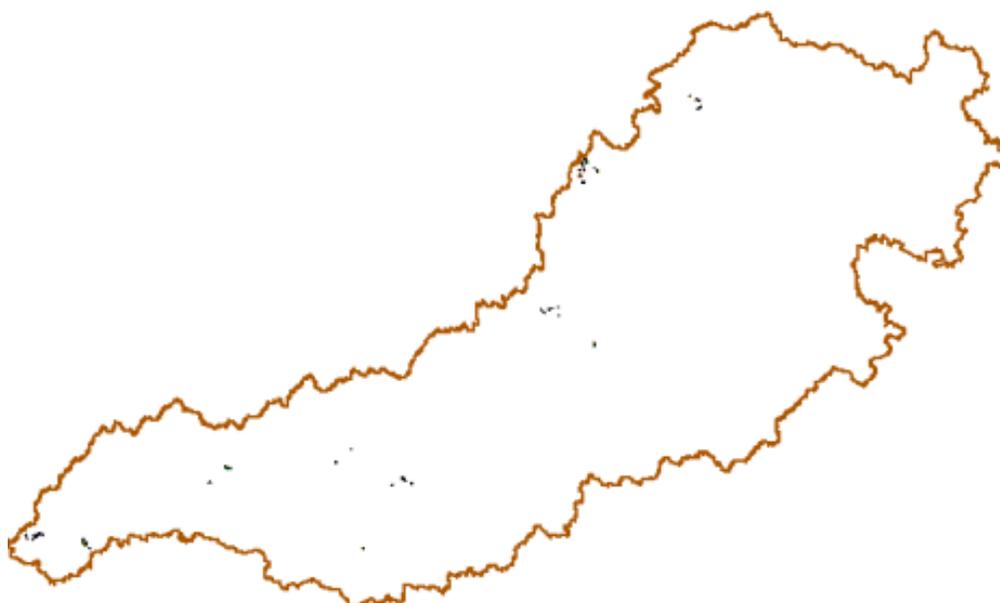


fig. 49) Illustration de la localisation des zones tests (80 polygones)

a) Travail préparatoire

En amont de notre visite sur le terrain, nous devons sélectionner les zones (polygones) à visiter. La durée du terrain étant de 5 jours, et en tablant sur une dizaine de sites visités chaque jour, entre 50 et 100 polygones seront présélectionnés.

Une pré-interprétation a donc été réalisée sur une dizaine de zones. Au sein de ces zones, nous avons choisi 80 polygones ayant une expression de zone humide sur les images. Nous avons sélectionné un panel de polygones correspondant aux différentes problématiques rencontrées lors de la pré-interprétation.

L'ensemble de ces polygones à investiguer sur le terrain a été intégré sous SIG. À chaque polygone est attribué une observation ainsi que le travail à réaliser sur le terrain.

RES_BOT	RES_P	BOT	Observations	Surf	num	zone
-1	-1	<input type="checkbox"/>	il y a une couleur rouge vif sur Avnir	0.298	36	3 g
4	-1	<input checked="" type="checkbox"/>	Cette zone a une signature tres marquée sur les images sat. = tres sombre	0.032	37	3 d
3	4	<input checked="" type="checkbox"/>	la moitié ouest du polygone à gauche du ruisseau est en ZH dans les inventaires	0.061	38	3 d
-1	-1	<input checked="" type="checkbox"/>	Cette zone boisée donne une réponse vert clair sur rapideye alors que sur	0.027	39	4 d
-1	-1	<input type="checkbox"/>	Trace en y tres tres nette sur toutes les images	3.690	40	4 g
-1	-1	<input type="checkbox"/>	trace sombre sur avnir mais pas tres nette sauf ce qui semble etre un petit	1.252	41	4 g
-1	-1	<input type="checkbox"/>	il y a une trace tres nette sur Avnir	0.348	42	4 d
-1	-1	<input type="checkbox"/>	il y a une trace tres nette sur Avnir et rapideye	0.768	43	4 g

type	avnir	rapid	cassini	bdorth	ibk	autre	source	long_centre	lat_centre
champs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Prelocalisation ZH 72	0 42 35.702	47 56 02.136
prairie	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		0 44 29.467	47 56 09.755
prairie	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Prelocalisation ZH 72	0 44 23.972	47 56 55.125
foret	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		0 40 14.507	47 36 01.907
champs	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		0 38 31.259	47 36 16.244
champs	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		0 37 08.275	47 35 31.193
champs	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		0 39 23.171	47 35 19.558
champs	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		0 37 51.394	47 34 56.423

fig. 50) Table attributaire indiquant les observations et le travail à réaliser sur chaque parcelle

b) Problématiques observées sur le terrain et résultat

Lors de la pré-analyse des images et données exogènes, certains points ont mené le photo-interprète à émettre des doutes quant à ce qu'il observait. Ces différents points :

- Traces dans les champs visibles essentiellement sur les AVNIR et RAPIDEYE
- Taches sur certaines parcelles, visibles sur les images satellites et sur la BD Ortho
- Radiométrie spécifique des zones humides à vérifier

- Zones inventoriées en Zones Humides n'ayant aucun indicateur d'humidité
- Influence des mares/plan d'eau sur le sol avoisinant
- Influence des étangs présents sur les cartes de Cassini

nécessitaient une validation des hypothèses sur le terrain afin de permettre de lever les incertitudes des photo-interprètes lors du travail de délimitation et d'identification des zones humides. L'analyse de chaque cas est détaillé dans l'ANNEXE 1 se trouvant en fin de rapport.

B) Comparatif inventaires / terrain

a) Croisements avec la distance au réseau hydrographique.

Afin de valider les distances choisies pour les buffers eau, un croisement statistique entre les inventaires à disposition et la distance au réseau hydrographique a été effectué.

	Potentiellement humide	Humide		Boisement humide	ZH en culture	Prairie humide	Friches humides	Zone antérieurement humide	Zone de marais
< 50 m	78%	73%	< 50 m	46.89%	26.48%	43.03%	56.75%	44.78%	3.05%
50 m < < 100 m	19%	18%	50 m < < 100 m	66.23%	42.55%	61.54%	73.38%	68.14%	8.19%
100 m < < 150 m	3%	4%	100 m < < 150 m	74.71%	53.13%	70.45%	80.03%	79.38%	17.90%
150 m < < 200 m	1%	2%	150 m < < 200 m	79.86%	60.42%	75.88%	83.92%	85.75%	30.75%
200 m < < 250 m	0%	1%	200 m < < 250 m	83.53%	67.85%	79.70%	86.31%	88.39%	45.87%
250 m < < 300 m	0%	1%	250 m < < 300 m	86.61%	75.00%	82.94%	88.11%	89.83%	60.44%
300 m < < 400 m	0%	1%	300 m < < 400 m	91.46%	83.58%	88.36%	91.27%	91.55%	78.29%
400 m < < 500 m	0%	0%	400 m < < 500 m	94.67%	89.09%	91.98%	93.29%	95.86%	87.37%
500 m < < 750 m	0%	0%	500 m < < 750 m	96.50%	93.01%	95.36%	95.32%	99.51%	90.84%
750 m < < 1000 m	0%	0%	750 m < < 1000 m	97.97%	95.47%	98.25%	98.53%	100.00%	94.49%
> 1000 m	0%	0%	> 1000 m	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

fig. 51) Tableaux des résultats des croisements statistiques entre le buffer les différents types de zones humides

A Gauche : croisement entre les inventaires des zones humides du PNR du Perche et la prélocalisation zone humides 72 avec la distance par rapport au réseau hydrographique

A Droite : croisement entre l'inventaire ODS ZH 37 basé sur le Corine Biotope avec la distance par rapport au réseau hydrographique

Prélocalisation des zones humides – SAGE LOIR

On note une tendance générale de la présence de 80 % des zones humides ou potentielles dans une bande de 250 m autour des réseaux. Il faut noter qu'il est normal que les zones en cultures et les marais (dépressions) ne répondent pas tout à fait à cette règle, en lien avec le fonctionnement de ces zones humides.

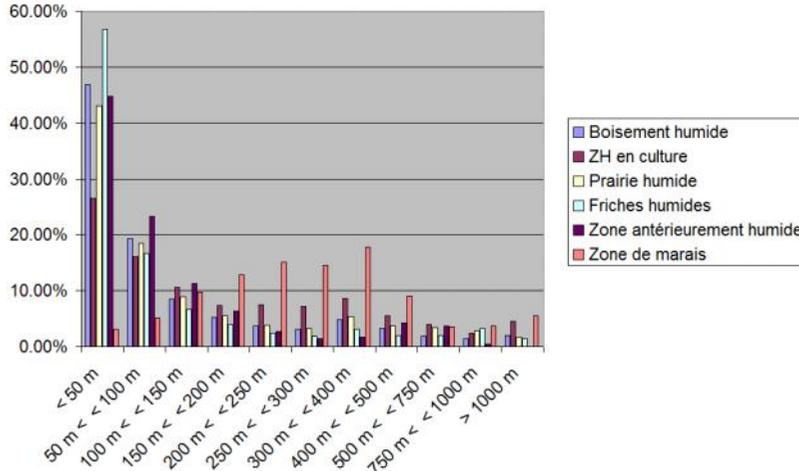


fig. 52) Graphique de l'histogramme des répartitions de zones humides

	Aulnaie-frênate	Chenaie pédonculée à molinie bleue	Bois de bouleaux	Frênate	Peuplerate	Saussaie marécageuse	Prairie de fauche alluviale calcicole18	Prairie de fauche humide	Prairie pâturée	Pré humide acidiphile atlantique	Moliniate
< 50 m	66.0%	0.0%	12.2%	12.1%	41.8%	32.1%	34.4%	27.2%	25.6%	61.0%	0.0%
50 m < < 100 m	6.3%	0.0%	4.8%	9.8%	23.3%	18.1%	26.5%	27.5%	19.1%	20.2%	0.0%
100 m < < 150 m	0.0%	0.0%	5.4%	8.8%	12.5%	11.9%	15.2%	18.1%	11.1%	0.0%	8.1%
150 m < < 200 m	1.0%	1.4%	2.3%	10.2%	7.9%	8.7%	8.9%	9.2%	9.2%	16.6%	36.3%
200 m < < 250 m	6.8%	8.3%	0.0%	5.6%	5.4%	6.3%	3.9%	5.7%	6.7%	2.2%	26.9%
250 m < < 300 m	11.2%	13.0%	0.0%	1.4%	3.4%	8.1%	2.8%	5.3%	6.8%	0.0%	16.3%
300 m < < 400 m	8.7%	33.1%	0.0%	1.4%	3.7%	11.0%	5.0%	4.6%	15.4%	0.0%	12.5%
400 m < < 500 m	0.0%	42.6%	0.0%	3.3%	1.7%	3.9%	3.2%	1.3%	6.1%	0.0%	0.0%
500 m < < 750 m	0.0%	1.6%	0.0%	19.3%	0.3%	0.0%	0.2%	0.7%	0.0%	0.0%	0.0%
750 m < < 1000 m	0.0%	0.0%	23.8%	22.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%
> 1000 m	0.0%	0.0%	51.5%	5.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

< 50 m	66.0%	0.0%	12.2%	12.1%	41.8%	32.1%	34.4%	27.2%	25.6%	61.0%	0.0%
50 m < < 100 m	72.3%	0.0%	17.0%	21.8%	65.1%	50.2%	60.8%	54.8%	44.7%	81.2%	0.0%
100 m < < 150 m	72.3%	0.0%	22.4%	30.6%	77.5%	62.1%	76.0%	72.9%	55.8%	81.2%	8.1%
150 m < < 200 m	73.2%	1.4%	24.8%	40.8%	85.5%	70.7%	84.9%	82.1%	65.0%	97.8%	44.4%
200 m < < 250 m	80.0%	9.8%	24.8%	46.4%	90.8%	77.1%	88.8%	87.7%	71.7%	100.0%	71.3%
250 m < < 300 m	91.3%	22.7%	24.8%	47.8%	94.2%	85.1%	91.6%	93.0%	78.5%	100.0%	87.5%
300 m < < 400 m	100.0%	55.8%	24.8%	49.2%	98.0%	96.1%	96.6%	97.6%	93.9%	100.0%	100.0%
400 m < < 500 m	100.0%	98.4%	24.8%	52.5%	99.7%	100.0%	99.8%	98.9%	100.0%	100.0%	100.0%
500 m < < 750 m	100.0%	100.0%	24.8%	71.8%	100.0%	100.0%	100.0%	99.5%	100.0%	100.0%	100.0%
750 m < < 1000 m	100.0%	100.0%	48.5%	94.3%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
> 1000 m	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

fig. 53) Tableau des résultats des croisements statistiques entre le buffer et les zones Natura2000

Prélocalisation des zones humides – SAGE LOIR

	Cladiaie	Mégaphorbiat eutrophe	Mégaphorbiat mésotrophe	Roselière	Caricaie	Bas-marais alcalin		Dépression tourbeuse	Dépression humide		Communautés des bordures de cours d'eau	Végétation de ceinture de mare
< 50 m	87.1%	56.8%	69.2%	42.4%	33.9%	30.8%		43.6%	22.7%		14.6%	56.3%
50 m < < 100 m	11.8%	23.4%	18.2%	22.6%	18.9%	32.5%		0.0%	31.6%		20.5%	38.7%
100 m < < 150 m	1.2%	2.5%	4.3%	9.7%	10.2%	20.2%		0.0%	18.1%		21.3%	1.1%
150 m < < 200 m	0.0%	0.7%	1.2%	3.4%	6.7%	9.2%		2.6%	7.4%		30.6%	3.2%
200 m < < 250 m	0.0%	1.3%	2.7%	5.0%	8.9%	4.7%		2.6%	8.2%		13.1%	0.0%
250 m < < 300 m	0.0%	1.2%	1.3%	5.3%	7.8%	2.3%		0.0%	3.1%		0.0%	0.7%
300 m < < 400 m	0.0%	2.7%	2.0%	8.5%	10.0%	0.3%		20.5%	2.9%		0.0%	0.0%
400 m < < 500 m	0.0%	11.3%	1.1%	3.1%	3.6%	0.0%		30.8%	5.6%		0.0%	0.0%
500 m < < 750 m	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		0.0%	0.0%		0.0%	0.0%
750 m < < 1000 m	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		0.0%	0.0%		0.0%	0.0%
> 1000 m	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		0.0%	0.5%		0.0%	0.0%

< 50 m	87.1%	56.8%	69.2%	42.4%	33.9%	30.8%		43.6%	22.7%		14.6%	56.3%
50 m < < 100 m	98.8%	80.2%	87.5%	65.0%	52.8%	63.3%		43.6%	54.3%		35.1%	95.0%
100 m < < 150 m	100.0%	82.7%	91.7%	74.7%	63.0%	83.6%		43.6%	72.4%		56.3%	96.1%
150 m < < 200 m	100.0%	83.4%	92.9%	78.1%	69.7%	92.7%		46.2%	79.7%		86.9%	99.3%
200 m < < 250 m	100.0%	84.8%	95.6%	83.1%	78.6%	97.4%		48.7%	88.0%		100.0%	99.3%
250 m < < 300 m	100.0%	86.0%	96.9%	88.4%	86.4%	99.7%		48.7%	91.1%		100.0%	100.0%
300 m < < 400 m	100.0%	88.7%	98.9%	96.9%	96.4%	100.0%		69.2%	94.0%		100.0%	100.0%
400 m < < 500 m	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%		100.0%	99.5%		100.0%	100.0%
500 m < < 750 m	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%		100.0%	99.5%		100.0%	100.0%
750 m < < 1000 m	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%		100.0%	99.5%		100.0%	100.0%
> 1000 m	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%		100.0%	100.0%		100.0%	100.0%

fig. 54) Tableaux de croisement statistique entre la couche Natura2000 et la distance par rapport au réseau hydrographique en % et % cumulé.

En dehors des familles boisées qui ne répondent pas toutes à la règle de proximité à un réseau hydrographique ainsi que les dépressions qui effectivement peuvent se trouver loin d'un réseau, on peut envisager d'utiliser un buffer autour du réseau hydrographique de 150 m pour la majorité des zones humides et de 250 m pour plus de 80% des zones humides et zones potentiellement humides.

De même, le croisement statistique entre les parcelles de terrain et la distance par rapport au réseau hydrographique confirme ces premières hypothèses.

	Traces	Potentiellement humide	Significatif ZH	Zone Humide
< 50 m	38.0%	16.6%	11.2%	36.8%
50 m < < 100 m	24.1%	12.5%	18.3%	63.2%
100 m < < 150 m	13.5%	13.2%	21.0%	0.0%
150 m < < 200 m	7.8%	14.6%	8.3%	0.0%
200 m < < 250 m	6.1%	12.9%	12.3%	0.0%
250 m < < 300 m	4.3%	10.5%	11.6%	0.0%
300 m < < 400 m	4.3%	15.2%	17.3%	0.0%
400 m < < 500 m	0.0%	4.6%	0.0%	0.0%
500 m < < 750 m	2.0%	0.0%	0.0%	0.0%
< 50 m	38.0%	16.6%	11.2%	36.8%
50 m < < 100 m	62.0%	29.0%	29.5%	100.0%
100 m < < 150 m	75.6%	42.2%	50.5%	100.0%
150 m < < 200 m	83.3%	56.9%	58.8%	100.0%
200 m < < 250 m	89.4%	69.8%	71.1%	100.0%
250 m < < 300 m	93.8%	80.3%	82.7%	100.0%
300 m < < 400 m	98.0%	95.4%	100.0%	100.0%
400 m < < 500 m	98.0%	100.0%	100.0%	100.0%
500 m < < 750 m	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

fig. 55) Tableaux des croisements statistique entre les parcelles de terrain et la distance au réseau hydrographique.

Bien que les limites correspondent à la zone à vérifier et non à la zone humide elle-même, on retrouve la tendance générale des 100m pour les zones humides et 250 m pour les zones potentiellement humides.

b) Croisement statistique avec l'indice IBK

Les seuils de l'indice IBK initialement choisis ont été confirmés. Il est intéressant de noter que le croisement statistique de l'IBK avec les parcelles de terrain, mais également l'inventaire ODS ZH 37 basé sur le Corine Biotope donne des résultats similaires.

- Les zones à probabilité forte de présence de zones humides ont des indices compris entre 26 à 23.
- Les zones potentiellement humides sont regroupées entre les indices 15 à 22.

ÉTABLISSEMENT PUBLIC LOIRE
Prélocalisation des zones humides – SAGE LOIR

	Boisement humide	ZH en culture	Prairie humide	Friches humides	Zone antérieurement humide	Zone de marais
indice 1 - 2	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
indice 3 - 4	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
indice 5 - 6	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
indice 7 - 8	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
indice 9 - 10	0.1%	0.7%	0.7%	0.2%	0.0%	0.0%
indice 11 - 12	0.7%	3.5%	3.5%	0.7%	2.3%	0.4%
indice 13 - 14	3.0%	25.8%	7.4%	5.2%	1.4%	1.1%
indice 15 - 16	7.9%	28.0%	10.0%	17.4%	3.7%	8.8%
indice 17 - 18	15.4%	2.5%	12.9%	22.2%	6.5%	5.1%
indice 19 - 20	19.8%	7.6%	16.5%	17.1%	29.9%	11.7%
indice 21 - 22	18.3%	2.9%	12.6%	14.1%	41.6%	3.0%
indice 23 - 24	19.3%	18.9%	16.7%	12.7%	3.3%	43.6%
indice 25 - 26	15.5%	10.0%	19.7%	10.4%	11.3%	26.3%

fig. 56) Tableaux des statistiques de croisement de l'IBK avec différents types de zones humides dans les inventaires collectés

	Potentiellement humide	Humide		Potentiellement humide	Significatif ZH	Zone humide
indice 1 - 2	0.0%	0.0%	indice 1 - 2	0.0%	0.0%	0.0%
indice 3 - 4	0.0%	0.0%	indice 3 - 4	0.0%	0.0%	0.0%
indice 5 - 6	0.0%	0.0%	indice 5 - 6	0.0%	0.0%	0.0%
indice 7 - 8	0.0%	0.0%	indice 7 - 8	0.0%	0.0%	0.0%
indice 9 - 10	0.0%	0.0%	indice 9 - 10	0.0%	0.0%	0.0%
indice 11 - 12	0.0%	0.0%	indice 11 - 12	11.0%	0.0%	0.0%
indice 13 - 14	0.5%	1.2%	indice 13 - 14	30.5%	0.5%	0.0%
indice 15 - 16	7.0%	13.9%	indice 15 - 16	23.7%	11.2%	0.6%
indice 17 - 18	31.6%	32.2%	indice 17 - 18	3.4%	22.5%	5.1%
indice 19 - 20	51.8%	42.8%	indice 19 - 20	29.3%	4.9%	0.6%
indice 21 - 22	8.4%	8.7%	indice 21 - 22	2.1%	1.2%	0.0%
indice 23 - 24	0.6%	1.2%	indice 23 - 24	0.0%	7.2%	0.0%
indice 25 - 26	0.0%	0.0%	indice 25 - 26	0.0%	52.5%	93.7%

fig. 57) Tableaux des statistiques de croisement de l'IBK avec différents types de zones humides de l'ODS 37 redéfinies selon le critère législatif sur le CORINE BIOTOPE

Les différences selon les échantillons sont principalement dues à une délimitation trop parcellaire ou imprécise. Pour l'enquête de terrain par

exemple, les limites correspondaient à la zone à vérifier et non à la zone humide elle-même.

c) Conclusion sur les résultats de l'enquête de terrain

Indice IBK :

On obtient des résultats pertinents, mais il ne faut pas oublier que toutes les zones humides ne répondent pas au critère topographique et que cette information reste théorique.

Buffer réseau hydrographique :

Les statistiques obtenues permettent de dire que l'on peut définir une enveloppe de probabilité de présence de zone humide à partir de cette technique. La probabilité de présence de zone humide dans un buffer autour des cours d'eau dans la limite de certaines conditions de pentes s'est avérée assez bonne. Elle est d'ailleurs assez redondante avec l'information de l'IBK mais la complète également. Il est rappelé que l'enveloppe reste toutefois théorique.

Buffer plan d'eau :

Sa mise en pratique est assez simple. Elle part du principe qu'un plan d'eau peut avoir une influence sur le milieu qui l'entoure et générer une zone humide plus ou moins permanente et importante. Le problème est que l'on a peu de données à ce sujet et la composition des sols encaissants (plus ou moins imperméables ou drainant) a une grande importance. Toutefois, s'agissant de définir des zones de probabilité de présence, la génération d'un buffer de 150 m dans des zones de pentes inférieures à 2° semble raisonnable.

d) Méthodologie de validation phytosociologique

Afin de valider le résultat de l'analyse des images satellitales, une expertise de terrain a été effectuée sur un échantillon de zones humides repérées. Dans un premier temps, 11 grandes zones représentatives de la diversité du bassin ont été définies.

Au sein de ces grandes zones, 83 polygones ont été sélectionnés en cherchant aussi une représentation maximale des différentes situations du bassin. A côté de polygones « classiques », révélés comme hygrophiles par l'analyse des images satellitales et qui semblaient tout à fait favorables à la présence de zones humides notamment en raison de leur situation topographique, des échantillons ont été positionnés en assez forte proportion sur des cas atypiques : par exemple, sur des « taches hygrophiles » apparaissant sur un espace en pente ou zones identifiées comme humides par l'une des sources bibliographiques utilisées sans confirmation de l'analyse des images.

La mission de validation phytosociologique ayant été définie sur 4 jours, 34 de ces polygones ont pu être analysés. Des polygones ont été

laissés de côté parce que trop éloignés, d'autre pour des raisons pratiques (propriétés privées closes par exemple).

Pour chaque polygone ont été notés :

- ❖ Le nom des habitats dominants ou remarques (Corine biotope)
- ❖ Le degré d'hygrophilie (5 niveaux) : pas d'habitats hygrophiles, habitats hygrophiles inférieurs à 33 % de la superficie du polygone, compris entre 33 et 67 %, supérieurs à 67 %, complètement dominants).
- ❖ Intérêt phytosociologique, notamment présence d'habitat d'intérêt communautaire.
- ❖ Espèces indicatrices ou patrimoniales

Le tableau présenté en ANNEXE 6 donne le détail de cette analyse.

e) Résultat de l'analyse

La présence effective de zones humides :

Aucune	Moins de 33 % de la superficie	Entre 33 et 66 % de la superficie	Plus de 66 % de la superficie	100 % de la superficie
6 zones tests	14 zones tests	4 zones tests	5 zones tests	5 zones tests
18 %	41 %	12 %	15 %	15 %

fig. 58) Table du pourcentage de présence de zones humides sur les zones inventoriées.

82 % des polygones testés se sont révélés abriter effectivement des habitats hygrophiles.

Le taux d'erreur des zones identifiées se situe donc à 18 %, et ce taux peut être considéré comme maximal, l'échantillon testé ayant donné une forte représentation aux situations atypiques et marginales.

La méthode permet donc une bonne identification des secteurs hygrophiles mais par contre leur délimitation est beaucoup plus sujette à caution : seuls 15 % des polygones se sont révélés complètement hygrophiles et la classe des sites à moins de 33 % de zones humides domine nettement.

Les zones humides du bassin du Loir sont petites, disséminées, imbriquées dans des habitats non hygrophiles, et seul une expertise de terrain peut permettre de les délimiter précisément.

Pour ce qui est des 6 cas où aucun habitat hygrophile n'a été détecté, il est à noter qu'une configuration particulière s'est retrouvée dans 3 d'entre eux : les polygones considérés correspondaient à des prairies équinées caractérisées par une densité d'animaux très importante induisant un fort tassement du sol et donc un engorgement superficiel qui semble avoir induit une « réponse » des images de même nature que les zones humides véritables. Ces zones sont en situation topographique qui permet de les repérer aisément comme éléments douteux de l'inventaire et une visite de terrain très rapide permet de les invalider définitivement.

L'intérêt écologique des zones humides du bassin :

50 % des zones tests abritent au moins un habitat d'intérêt communautaire. Ce résultat peut être considéré comme particulièrement important dans le contexte que connaissent actuellement les espaces alluviaux dans le domaine atlantique français.

8 habitats d'intérêt communautaire ont été détectés, tous sont considérés comme en mauvais état de conservation dans le domaine atlantique français.

- ❖ Habitats aquatiques de tête de bassins
 - 3110 – Eaux oligotrophes très peu minéralisées des plaines sablonneuses atlantiques
 - 7220 – Sources pétrifiantes avec formation de tuf
- ❖ Habitats hygrophiles
 - 91EO- Forêts alluviales résiduelles (6 zones)
 - 91FO – Forêts mixtes de chênes, d'ormes et de frênes bordant de grands fleuves (1 zone)
 - 6430 – Mégaphorbiaies eutrophes (3 zones)
 - 3270 – Berges vaseuses des rivières (1 zone)
- ❖ Habitat agro-pastoral
 - 6510 –Prairies maigres de fauche de basse altitude (8 zones)
- ❖ Habitat non hygrophile
 - 6120 – Pelouses calcaires sur sables xériques

Il est intéressant de remarquer que ce dernier habitat (prioritaire), non hygrophile mais lié dans de nombreux cas aux systèmes alluviaux a été repéré grâce à une anomalie dans la cartographie de télédétection, le site apparaissant comme anormalement sec dans un contexte, la basse vallée, globalement dominée par les habitats hygrophiles.

Le bassin du Loir abrite un réseau dense de petites zones humides d'intérêt majeur qui demande un travail cartographique par prospection de terrain pour être précisé, mais qui peut d'ores et déjà être qualifié comme un enjeu fort à l'échelle nationale.

Par ailleurs, le bassin apparaît comme très préservé aujourd'hui des espèces exotiques envahissantes (espèces dites invasives) par rapport à la situation alarmante constatée sur tous les grands bassins français. Un seul des 34 sites abritait l'une de ces espèces, le Robinier faux-acacia (*Robinia pseudoacacia*). Sur ce critère aussi, le bon état écologique du bassin est à souligner.

Conclusion :

La méthode de détection des zones humides s'avère globalement pertinente. Les erreurs sont marginales, une prospection de terrain sommaire permet de les corriger rapidement.

Il est à noter que ces « erreurs » peuvent aussi permettre de mettre en évidence la présence d'habitats remarquables bien que non hygrophiles.

Néanmoins, si la méthode est efficace pour effectuer un pré-repérage des zones humides avec une forte probabilité de présence, il se révèle insuffisant pour définir une stratégie opérationnelle d'action sur cell es-ci.

Une expertise de terrain complémentaire est indispensable pour :

- Préciser les limites exactes des zones humides ;
- Définir leur typologie (habitats présents), leur complexité intrinsèque et leur niveau d'intérêt ;
- Définir leur état de conservation et les facteurs défavorables qu'elles subissent, éléments clés d'un plan d'action.

Enfin la méthode a des lacunes, notamment au niveau des zones humides présentes dans des massifs boisés. La prospection de terrain devient ici le seul moyen d'obtenir un inventaire satisfaisant.

C) Préparation des inventaires et photo - interprétations mis à disposition pour intégration.

Dans le contexte de l'étude, l'utilisation de multiples données dans le but de les fusionner et/ou de les recouper nécessite une structuration parfaite de ces couches vectorielles. C'est pourquoi des corrections ont été apportées aux données initiales avant de procéder aux traitements. Le détail de ces vérifications et corrections est précisé en ANNEXE 2.

Après analyse des différentes informations dans les couches d'inventaires et les possibilités d'homogénéisation, il a été décidé de créer la structure suivante :

Structure de la couche vectorielle :

Table: ZONAGE_ZH Desc: couche de probabilité de présence et d'inventaire de zones humides NumRecords = 44497						
Nom du champ	Type	Taille	Déci	Min	Max	Description
OBJET_ID	Texte	22	0	1	44497	Identifiant unique
CODE	Texte	4	0			Code typologique du polygone
LB_TYPOLOGIE	Texte	162	0			Intitulé typologique du polygone
CONFIANCE	Texte	4	0			Indice de confiance
LB_CONFIANCE	Texte	41	0			Intitulé de l'indice de confiance du polygone
PROBABILITE	Texte	31	0			Type et degré de probabilité de présence de l'entité
ORIGINE	Texte	36	0			Origine de la donnée
DIAGNOSTIQUE	Texte	26	0			Type de diagnostique ayant conduit à l'identification
ANNEE	Entier	4	0			Année du diagnostique
ECHELLE	Entier	4	0			Echelle de travail pour le diagnostique
CONNEXION_RH	Entier	4	0			Réservé au relations avec le RH
TETE_BV	Entier	4	0			Réservé au relations avec le RH
INTERCEPTION_RH	Entier	4	0			Réservé au relations avec le RH
INTERCONNEXION	Entier	4	0			Réservé au relations avec le RH
SURFACE_M	Double	8	5			Surface du polygone en m ²
SURFACE_HA	Double	8	5			Surface du polygone en hectare
PERIPHERIE_M	Double	8	5			Périphérie du polygone en m

fig. 59) Table de la liste des champs attributaires de la table ZONAGE_ZH

a) Regroupement des inventaires de la Sarthe, du PNR du Perche et de l'ODS de la DDAF d'Indre et Loire.

Les inventaires du PNR du Perche et du département 72 sont basés sur la même nomenclature et le même indice de confiance qui sont renseignés pour chaque zone humide:

- 1 : Plan d'eau
- 2 : Boisement humide (peupleraie essentiellement, et boisement très probablement humide dû fait de sa localisation)
- 3 : Zone humide en culture (traces d'humidité, visibles sur les orthophotos, en cultures)
- 4 : Prairie humide
- 5 : Friches humides
- 6 : Zone antérieurement humide (zone qui a été visiblement humide avant, mais qui a été complètement drainée, par exemple)
- 8 : Drainage (terrain humide dont on voit nettement les marques de drainage)
- 9 : Zone de marais (zone humide très difficile à identifier à partir de l'orthophotoplan)

L'indice de confiance traduit le degré de fiabilité de la zone concernée par rapport à sa nature ou à sa délimitation.

- 1 : Très fiable, très peu de doute possible
- 2 : Assez fiable, peu de doute possible
- 3 : Moyennement fiable, douteux
- 4 : Zones humides « logiques »
- 5 : Peu fiable, très douteux

En dehors des problèmes de recouvrement des deux interprétations, l'homogénéisation est donc simple. Mais on peut également remarquer des incohérences entre les deux interprétations que ce soit au niveau des délimitations ou au niveau typologique. Contrairement à l'inventaire de la Sarthe, l'inventaire du PNR indique clairement quelques parcelles validées sur le terrain. Il s'agira donc de privilégier cette information.

La fusion des deux inventaires permet de créer un inventaire cartographique unique sur le territoire du SAGE tout en préservant les informations relatives aux couches vectorielles initiales. La fusion est une opération d'addition des deux informations vectorielles .

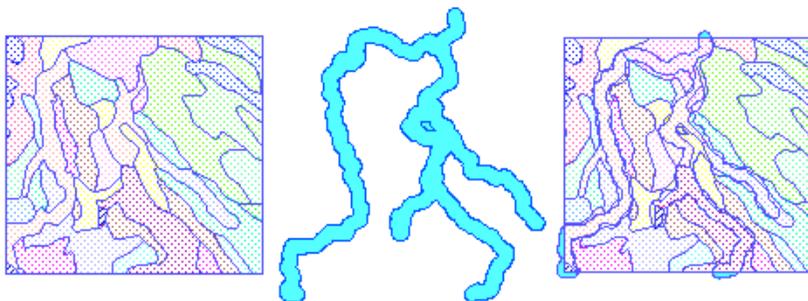


fig. 60) Illustration d'un exemple de fusion ou d'union « UNION OR »

La fusion des deux types d'inventaires engendre la formation de micropolygones sur la zone de recouvrement des deux études. Un traitement SIG est nécessaire pour éliminer ces micropolygones. Il est basé sur une analyse spatiale et relationnelle des objets (polygones) entre eux et de leurs données attributaires.

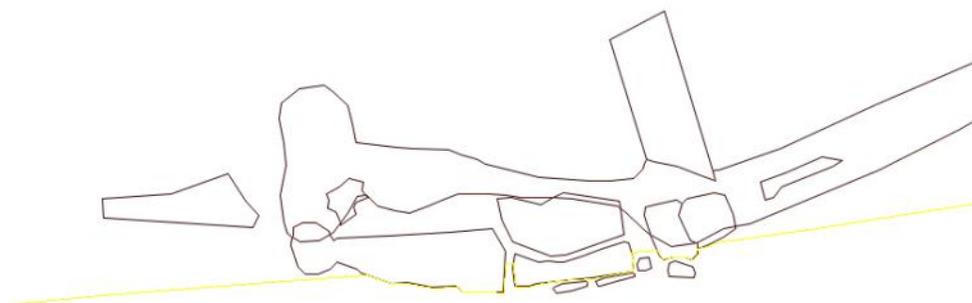


fig. 61) Illustration du problème de recouvrement entre les deux inventaires

Pour régler ces cas assez peu présents, une requête a été réalisée pour prioriser les informations en fonction de l'indice de confiance et le type de diagnostic. La priorité étant donnée à l'indice de confiance le plus fort et aux enquêtes de terrain par rapport à la simple photo-interprétation.

Pour les petits polygones restant, en fonction de leurs surfaces, si celle-ci est inférieure à 20 m², le polygone est supprimé, si elle est inférieure à 100 m², le polygone est fusionné avec son voisin en prenant son code d'identification et si elle est supérieure à 100 m², le polygone est conservé.

À la fin de l'étape de fusion, la couche fusionnée conserve donc les informations suivantes pour chaque polygone :

CODE	INDICE DE CONFIANCE	ORIGINE	DIAGNOSTIC	ANNÉE
4	5	Étude de prélocalisation du 72	Photo-interprétation	2007
2	1	Étude PNR du Perche	Terrain ?	2008
7	1	Étude PNR du Perche	Photo-interprétation	2009

fig. 62) Table attributive de la couche après fusion

Intégration de la couche d'inventaire de l'ODS 37

La couche ODS d'Indre et Loire est structurée différemment des deux autres. En effet, elle ne présente pas la même nomenclature ni d'indice de confiance.

ÉTABLISSEMENT PUBLIC LOIRE
Prélocalisation des zones humides – SAGE LOIR

ID	CodeCorineBiotopes	Num_ZHBDD	Num_ZH	Code_Corine_simplifiée(80)
5	16.1	0370THEMA0220	ZH122	16
15	16.1	0370THEMA0283	ZH329	16
50	16.1	0370THEMA0283	ZH329	16
65	16.1	0370THEMA0283	ZH329	16
94	16.1	0370THEMA0283	ZH329	16
113	16.1	0370THEMA0283	ZH329	16
117	16.1	0370THEMA0283	ZH329	16

fig. 63) Illustration de la structure de la table attributaire de la couche ODS

En revanche, elle est basée sur le Corine Biotope qui intègre des notions d'habitats avec présence d'espèces végétales. La législation a défini trois classes suivant cette nomenclature : NH (Non humide), PH (Potentiellement humide) et H (humide).

Nous avons donc écarté les polygones correspondant à des habitats classés non humides puis nous avons attribué un indice de confiance de 1 pour les habitats H et de 2 pour les habitats PH afin d'homogénéiser l'indice de confiance avec les deux autres inventaires. La délimitation très précise de l'ODS et sa nomenclature incite à penser qu'elle est probablement basée sur une enquête terrain.

ORDRE	CD_SIMPLE	CD_CB	LEGIS	NIVEAU	LB_CB97_FR	CD_CB_SUP
1		1 1	PH	1	Habitats littoraux et halophiles	
2		11 11	NH	2	Mers et océans	1
3		11 11.1	NH	3	Eaux marines	11
4		11 11.11	NH	4	Eaux océaniques	11.1
26		11 11.33	NH	4	Herbiers méditerranéens à Cymodocea et Zostera	11.3
27		11 11.331	NH	5	Herbiers méditerranéens à Cymodocea	11.33
28		11 11.332	NH	5	Herbiers méditerranéens à Zostera	11.33
29		11 11.34	NH	4	Herbiers de Posidonia	11.3
30		11 11.4	H	3	Herbiers des eaux saumâtres	11
31		11 11.41	H	4	Groupements marins à Ruppia maritima	11.4
32		12 12	NH	2	Bras de mer	1
33		13 13	NH	2	Estuaires et rivières tidales (soumises à marées)	1
34		13 13.1	NH	3	Fleuves et rivières soumis à marées	13
35		13 13.11	NH	4	Eau saumâtre des cours d'eau soumis à marées	13.1
36		13 13.12	NH	4	Eau douce des cours d'eau soumis à marées	13.1
37		13 13.2	NH	3	Estuaires	13
38		13 13.3	NH	3	Herbiers marins submergés	13
39		13 13.4	NH	3	Herbiers saumâtres submergés	13
40		14 14	H	2	Vasières et bancs de sable sans végétations	1
41		15 15	PH	2	Marais salés, prés salés (schorres), steppes salées et fourrés sur gypse	1
42		15 15.1	H	3	Gazons pionniers salés	15
43		15 15.11	H	4	Gazons à Salicorne et Suaeda	15.1
44		15 15.111	H	5	Gazons atlantiques à Salicorne (Slikkes)	15.11
45		15 15.1111	H	6	Gazons à salicorne des côtes basses	15.111
46		15 15.1112	H	6	Groupements à Suaeda et salicorne	15.111
47		15 15.112	H	5	Gazons continentaux à salicorne	15.11
48		15 15.1121	H	6	Suintements continentaux à salicorne	15.112
49		15 15.1122	NH	6	Gazons continentaux secs à salicorne	15.112
50		15 15.113	NH	5	Gazons méditerranéens à salicorne	15.11
51		15 15.1131	H	6	Gazons à salicorne des basses côtes méditerranéennes	15.113
52		15 15.1133	H	6	Gazons à salicorne des hautes côtes méditerranéennes	15.113
53		15 15.12	H	4	Groupements halonitrophiles à Frankenia	15.1

fig. 64) Extrait de la nomenclature Corine Biotope

Le second problème a été l'homogénéisation de la nomenclature en fonction du Corine Biotope. Les classes initiales, très nombreuses et détaillées, ont été réparties dans ces 6 classes :

- 2 : Boisement humide
- 3 : Zone humide en culture
- 4 : Prairie humide
- 5 : Friches humides
- 7 : Peuplier
- 9 : Zone de marais

Note : dans la couche d'origine, un seul polygone correspond à la classe 9, cette classe a été ajoutée pour préserver l'information de terrain issue des inventaires ODS.

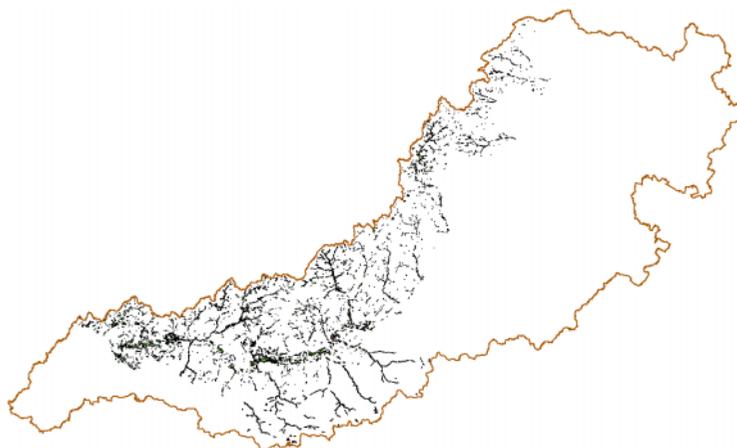


fig. 65) Illustration du résultat de la fusion des trois inventaires.

La fusion se compose de 6237 polygones dans une couche unique en mode polygonale.

CODE	LB_TYPOLOGIE
1	Zone humide artificialisée
2	Zone humide de bordure de cours d'eau
3	Zone humide de bordure de plan d'eau
4	Zone humide ponctuelle
5	Boisement organisé
6	Peupliers
7	Ripisylve
8	Champ humide
9	Zone de marais

fig. 66) Table des valeurs attributaires préservées après la fusion

CONFIANCE	LB_CONFIANCE
0	Pas d'indice
1	Très fiable, très peu de doute possible
2	Assez fiable, peu de doute possible
3	Moyennement fiable, douteux
4	Zones humides « logiques » ou historiques
5	Peu fiable, très douteux

fig. 67) Table des indices de confiances

En ce qui concerne les métadonnées⁴, la probabilité a hérité d'une valeur unique «Très forte - Observation», l'origine des inventaire est précisée et le diagnostic est par défaut définit en « photo-interprétation » excepté pour l'ODS où il est évident qu'il n'a pu être réalisé sur la base du Corine Biotope sans terrain et pour le PNR du perche qui indiquait clairement dans la table les parcelles faites sur le terrain qui héritent donc de la valeur « terrain ? ». L'année hérite directement de l'information contenue dans les tables. Enfin, l'échelle a été évaluée en fonction de la qualité de la délimitation vectorielle par rapport à la BD ORTHO.

PROBABILITÉ	ORIGINE	DIAGNOSTIQUE	ANNÉE	ÉCHELLE
Très forte - Observation	Étude de prélocalisation du 72	Photo-interprétation	2009	7500
Très forte - Observation	Étude ODS ZH 37 homogénéisée	Terrain ?	2008	3000
Très forte - Observation	Étude PNR du Perche	Terrain ?	2008	7500
Très forte - Observation	Étude PNR du Perche	Photo-interprétation	2007	7500

fig. 68) Table des métadonnées héritées

⁴ métadonnées : C'est une donnée (ici sous forme de texte) servant à définir ou décrire une autre donnée, principalement les couches numériques vectorielles du SIG.

III) Télédétection - imagerie

La télédétection est un outil indispensable pour donner un état des lieux des conditions environnementales. Elle permet de récolter de multiples données spatialisées sur de grandes superficies. Un système de télédétection ne génère pas une information directement utile; c'est avant tout un outil qui produit des données. Tout l'art de la télédétection consiste à transformer des mesures physiques obtenues sur des surfaces en informations utiles. Les données doivent être analysées conjointement avec d'autres types de données (de terrain, statistique, etc.) dans le but d'en extraire une information compréhensible pouvant être intégrée, la plupart du temps dans un Système d'Information Géographique.

1) Données satellitaires à disposition

La télédétection est définie comme l'ensemble des techniques qui permettent l'étude de la surface terrestre à partir d'enregistrements provenant de capteurs embarqués à bord d'avions ou de satellites. Ces techniques autorisent la détermination à distance des propriétés des différents types de surfaces (cultures, végétation naturelle, sols, surfaces en eau...). Les capteurs présents sur les satellites ne se limitent pas au seul domaine du visible, mais s'étendent aussi à l'infrarouge et aux hyperfréquences (Guyot, 1993).

A) Notions de base de télédétection optique - infrarouge

a) le spectre de la lumière

La lumière blanche peut être décomposée en différents éléments visibles par l'œil humain ou non. La décomposition en différentes longueurs d'onde permet d'obtenir le spectre de la lumière blanche qui correspond à la lumière générée par le soleil. L'analyse de ce spectre est détaillée en ANNEXE 3.

b) Propriétés optiques des végétaux, de l'eau et du sol

Les propriétés spectrales des végétaux et du sol vont impacter sur la réponse enregistrée au niveau du satellite par le capteur. Toutes les plantes chlorophylliennes ont des feuilles qui absorbent de façon identique les différentes longueurs d'onde de la lumière. Les différences apparaissent non pas dans la forme, mais dans l'amplitude de la courbe.

Propriétés selon le domaine spectral

G. Guyot (1989) fait une distinction selon trois domaines spectraux.

- Dans le domaine du visible, les feuilles ont une faible réflectance, car la majeure partie du rayonnement est absorbé par les pigments foliaires (chlorophylle, carotène, xanthophylles et anthocyanes). Dans cette partie du spectre, l'absorption est maximum dans le bleu et la réflectance maximum vers 550 nm (ce qui correspond au jaune vert).

- Dans le proche infrarouge (voir le début du moyen infrarouge) (de 700 à 1300 nm). Les végétaux chlorophylliens ont une réponse importante dans cette gamme de longueurs d'onde. La quantité du rayonnement absorbée par la feuille est au maximum de 10 % et la réflectance avoisine les 50 %.

- Dans l'infrarouge moyen (1300-2500 nm) c'est essentiellement l'eau contenue dans les feuilles qui va modifier les propriétés optiques des végétaux et donc la réflectance. Il existe au-delà de 1300 nm des bandes d'absorption maximum du rayonnement par l'eau. Cependant, il faut noter qu'à 1650 et 2200 nm la teneur en eau des feuilles influence la réflectance (qui augmente).

L'ANNEXE 4 présente les différents facteurs pouvant intervenir dans la modification de la réponse radiométrique d'une surface.

Qualités intrinsèques des canaux en fonction des longueurs d'onde

- **Bleu** : pénètre quelques mètres dans l'eau, distinction des sols nus et différenciation des conifères et des feuillus.
- **Vert** : optimal pour la végétation et notamment de sa vigueur
- **Rouge** : bonne discrimination interne de la végétation
- **Proche infrarouge** : délimitation des surfaces en eau, structure de la végétation
- **Moyen infrarouge** : humidité des sols et teneur en eau, végétaux, contraste entre minéral et végétation (corrélé avec le canal 4)
- **Thermique** : sécheresse et humidité des sols, température de surface.

c) Choix du type d'images satellitaires en fonction de la thématique analysée.

Plusieurs critères sont requis pour choisir les images répondant le mieux aux besoins de l'étude.

. La définition de l'image

La taille des phénomènes étudiés doit être nettement plus grande que celle des pixels, d'où l'importance de la résolution spatiale du satellite. Par exemple, travailler sur un phénomène dont l'unité de sol a une surface moyenne proche de la taille du pixel est vouée à l'échec, car les effets de bords sur les pixels faussent le résultat. Pour bien segmenter une image, il faut que la taille du pixel de celle-ci soit inférieure à ce que l'on souhaite mettre en évidence.

À l'inverse, une image trop précise n'est pas exploitable en segmentation surtout en ce qui concerne les milieux naturels. En effet, plus l'image est précise (de l'ordre du mètre ou inférieur), plus l'impact d'éléments perturbant pour la réponse radiométrique est important. Parmi eux, on citera les ombres, la fraction végétale par rapport à la fraction minérale, les micro variations qui n'ont pas d'importance pour la thématique.

. Les canaux disponibles

Les valeurs radiométriques d'un pixel dépendent de ses propriétés optiques, infrarouges et physiques. Ainsi, dans le cas d'un pixel de végétation, la réponse dans les canaux du visible (vert et rouge) est fonction de la teneur en pigments foliaires des végétaux alors qu'elle dépend surtout de la structure des feuilles dans le proche infrarouge (PIR) et de la teneur en eau dans le moyen infrarouge (MIR). Chaque domaine spectral apporte une information bien particulière sur la nature de l'objet observé. Les valeurs d'un pixel dans les différents canaux permettent donc de caractériser sa nature. Il arrive que des pixels de nature différente présentent des signatures spectrales similaires ce qui peut induire des erreurs de segmentation.

. La problématique des zones humides

Les images visibles ont l'avantage d'être facilement lisibles même pour les non-initiés. Elles permettent de donner des réponses spectrales différentes pour chaque type de milieux. Cette réponse spectrale est le cumul de plusieurs variables : couverture végétale du sol, de l'humidité et de l'éclairage au moment de la prise de vue.

Dans certains cas, la modification de l'un de ces critères peut induire deux réponses spectrales différentes pour une occupation du sol identique (un même habitat écologique). C'est le cas des ombres, mais également du niveau d'humidité du sol. Cette humidité peut également avoir une répercussion directe sur l'état de la végétation. En agriculture, il est spectralement très facile de discriminer les parcelles de même nature et d'en déduire si elles sont irriguées ou non. Il en est de même pour les zones naturelles.

À l'inverse, deux types d'occupations du sol différents peuvent donner des réponses spectrales très proches. Il est alors impossible de les distinguer à l'œil nu par un travail de type photo-interprète classique et le taux de confusion lors des traitements statistiques (classification) peut être trop important pour donner une information fiable.

Des satellites comme AVNIR et RAPIDEYE offrent des résolutions intéressantes pour cette étude. Toutefois, les tailles de pixels doivent rester de l'ordre de 10 m. En effet, les images de meilleure résolution spatiale ont le défaut d'avoir trop de détails et donc trop de réponses spectrales différentes par unité de surface. À l'inverse, une résolution trop basse ne permettra pas de réaliser une cartographie au 1/25 000, car les limites seront trop floues et la discrimination plus difficile.

B) Les données AVNIR (satellite ALOS)

Le satellite ALOS a été lancé en 2006. Il comporte trois capteurs : un Instrument panchromatique permettant la stéréo restitution (PRISM), qui est composé de trois ensembles de systèmes optiques pour mesurer l'altitude précise; le visible et le proche infrarouge (AVNIR-2), qui observe ce qui recouvre les surfaces terrestres, et le radar en bande L (Synthetic Aperture Radar) (PALSAR), qui permet d'acquérir des données de jour comme de nuit et quelques soient les conditions météorologiques.

Les caractéristiques du satellite et des images AVNIR sont

Résolution de 10 mètres pour les 4 Bandes spectrales

Échelle de travail optimale : 1/15 000

Description des bandes spectrales :

0.42 - 0.50 μm (visible bleu)

0.52 - 0.60 μm (visible vert)

0.61 - 0.69 μm (visible rouge)

0.76 - 0.89 μm (proche infrarouge)

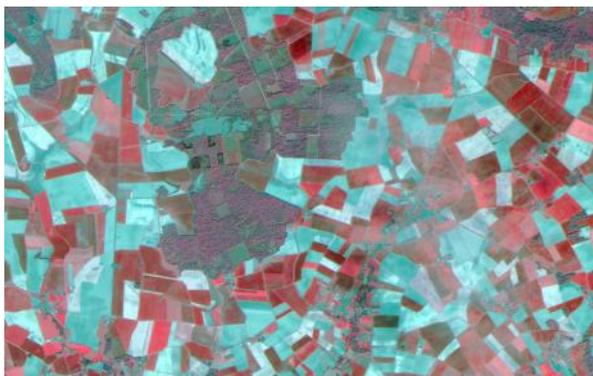


fig. 69) Extrait d'une image AVNIR

Chaque bande peut apporter des éléments qui permettront une meilleure discrimination des différents milieux. La saison des prises de vues choisies pour cette étude est la fin d'hiver de 2006 à 2008, car les sols nus facilitent la détection des zones humides notamment dans les parties agricoles.

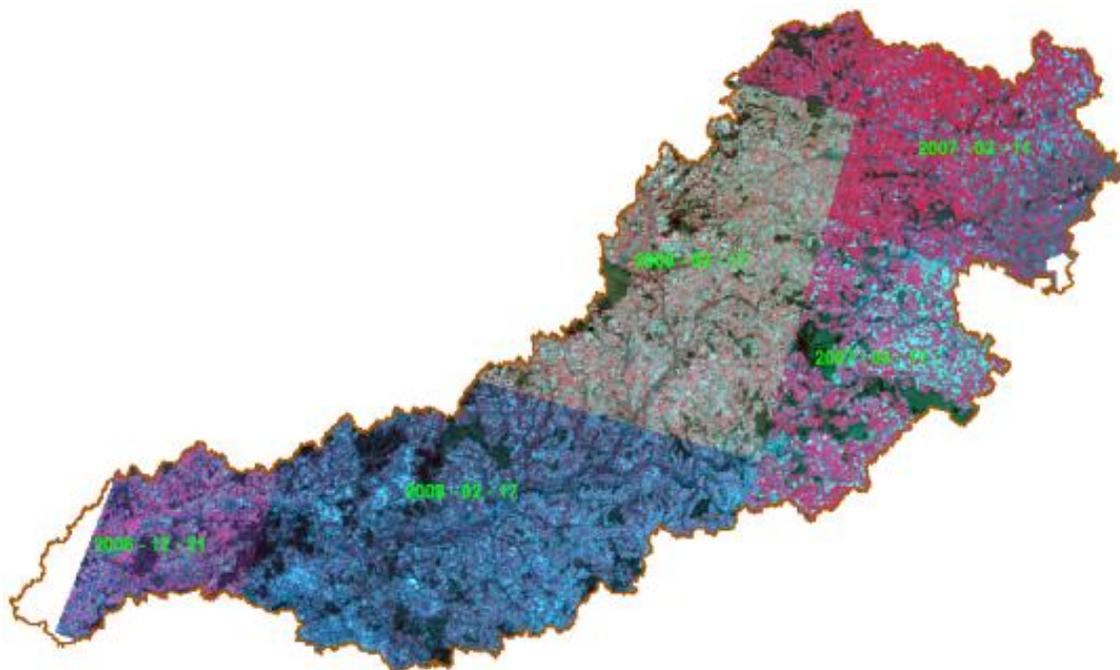


fig. 70) Illustration de la couverture image AVNIR du territoire du SAGE

C) Les données RAPIDEYE

Ce système de satellites est récent (2009) et présente une résolution de 5 mètres pour les 5 bandes spectrales, dont deux en infrarouge et proche infrarouge. Ces dernières sont idéales pour les thématiques liées aux zones humides et à la végétation.

Les caractéristiques du satellite et des images RAPIDEYE sont

Résolution de 5 mètres pour les 5 Bandes spectrales

Échelle de travail optimale : 1/10 000

Description des bandes spectrales :

0.44 - 0.51 μm (visible bleu)

0.52 - 0.59 μm (visible vert)

0.63 - 0.685 μm (visible rouge)

0.69 - 0.73 μm (Rouge)

0.76 - 0.85 μm (Proche infrarouge)

La saison des prises de vues choisies pour cette étude est l'été 2009, car la majorité de la végétation encore active en cette saison est celle qui a un apport en eau.

Seule une petite zone au sud a nécessité l'achat d'une scène d'hiver 2009, car la couverture été 2009 était nuageuse à cet endroit.

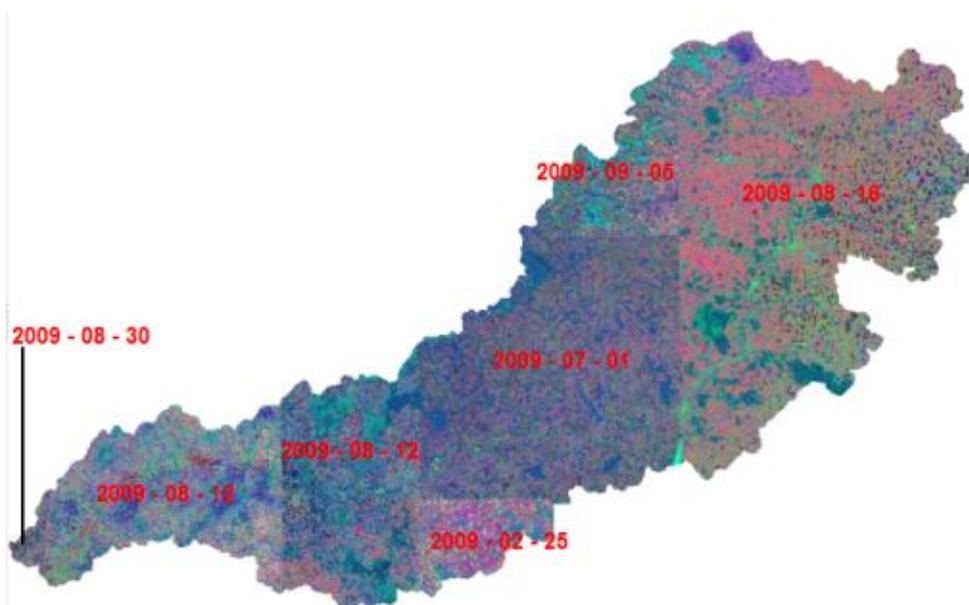


fig. 71) Illustration de la couverture image RAPIDEYE du territoire du SAGE

Cette solution offre l'avantage d'une couverture très récente (2009) et homogène puisque prise sur un laps de temps très court. Cela a l'avantage de ne pas nécessiter d'égalisation radiométrique très importante

pour masquer un changement d'année ou de saison et de pouvoir faire une mise à jour de plan d'eau à une date donnée sur l'ensemble du territoire.

D) Les prétraitements

a) Géoréférencement et orthorectification

Les traitements de base, géoréférencement et orthorectification, ont été réalisés sur la même référence cartographique et sur le même Modèle Numérique de Terrain afin de minimiser les décalages géométriques entre les scènes de même capteur et entre scènes de capteurs différents. Pour le géoréférencement, les photographies de la BD ORTHO ont été utilisées comme référence pour la prise de points de calage. L'orthorectification est un processus de calcul qui a comme objectifs de corriger les déformations de l'image liées au relief.

Ces conditions sont incontournables si on veut obtenir des images géométriquement « corrélables » entre elles notamment pour des analyses statistiques ou d'indices. Cette correspondance est indépendante de la taille du pixel. Il est vrai que des tailles de pixels homogènes facilitent ce genre d'opération, mais la résolution d'une image peut toujours être rééchantillonnée pour caler avec une autre.

Une ortho-image est une correction de façon à ce que l'image semble être prise à la verticale de tous les pixels qu'elle représente. Trois opérations de rectifications sont à réaliser lors du calcul de l'ortho-image :

- v Corriger l'inclinaison de la prise de vue
- v Rectifier l'inclinaison des objets due au relief
- v Corriger l'erreur de parallaxe⁵ commise à l'acquisition

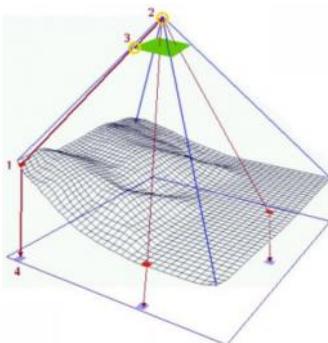


fig. 72) Schéma de la déformation lors de l'orthorectification

⁵ Erreur de parallaxe : La parallaxe est l'incidence du changement de position de l'observateur sur l'observation d'un objet ou d'une surface. En d'autres termes, la parallaxe est l'impact de changement de position de l'observateur sur un objet observé.

Les images seront orthorectifiées sur le MNT IGN. S'agissant d'image à 5 mètres (RAPIDEYE) et 10 mètres (AVNIR), la précision planimétrique attendue sera comprise entre 10 et 20 mètres.

Après l'orthorectification, un contrôle et recalage des images sur BD ORTHO a été réalisé. Il s'agit d'avoir une base de données image dont le calage permet de tracer la photo-interprétation indifféremment sur l'une ou l'autre des images.

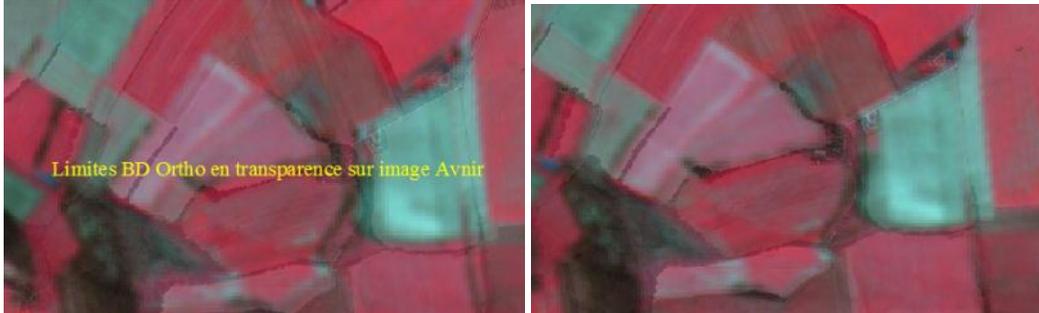


fig. 73) Illustration du recalage des orthoimages Rapideye et Avnir sur BD ORTHO par superposition en transparence des deux informations.

L'utilisation de la transparence permet de prendre des points de corrections et d'observer en temps réel les déformations.

b) Les compositions colorées

Une composition colorée est une combinaison de trois canaux choisis auxquels on affecte une valeur visuelle. Les trois couleurs rouge, vert, bleu sont attribuées à trois canaux différents.

L'interprétation d'une composition colorée permet de dégager les grands ensembles, les grands types d'organisation. Le travail réalisé est un travail identique à celui de la photo-interprétation (en couleur naturelle) avec cependant la possibilité de jouer sur les combinaisons de canaux, aboutissant à des résultats représentant des objets avec des couleurs qui peuvent nous être inhabituelles. La création de compositions colorées fait partie des premières démarches d'amélioration d'images qui doivent être réalisées dans le cadre de travaux de télédétection. Lorsque l'on analyse une image de télédétection, il est important de choisir les canaux qui présentent le moins de corrélation entre eux. Un des premiers travaux va être de déterminer en fonction du thème étudié quels sont les canaux qui sont les plus pertinents.

Lors de cette étude nous avons majoritairement utilisé les compositions colorées suivantes :

Pour les images RapidEYE : RVB – 321

Pour les images AVNIR : RVB - 421

c) Traitements spécifiques (ACP)

L'analyse en Composantes Principales (ACP) est une analyse factorielle. C'est une analyse statistique multivariée dont l'objectif est de résumer l'information de plusieurs canaux en un nombre réduit de nouveaux canaux (2 à 3 canaux). Les variables ainsi créées sont appelées axes (ou composantes principales). L'information initiale est donc réduite en un nombre de variables plus faible représenté par les axes. En effet, l'utilisateur ne prendra dans son analyse que les premiers axes censés représenter le maximum d'information. Cette approche est une approche statistique, mais aussi géométrique, car les variables sont projetées dans un espace géométrique à n dimensions, n représentant le nombre de variables initiales.

L'objectif de ces ACP était de nous permettre de faire ressortir, dans la mesure du possible, une information sur l'humidité des sols.

L'ACP a l'avantage de donner une vision globale de l'information sur toutes les bandes spectrales à la fois. Deux entités qui ne ressortent pas de couleurs différentes sur l'ACP ne seront pas discriminables par un traitement statistique de type classification. L'ACP permet d'obtenir des plans dans lesquels l'information se décompose progressivement de l'information majoritaire et pertinente vers le bruit. Ainsi en utilisant les premiers plans de l'ACP, on peut visualiser en une seule composition colorée la synthèse de N bandes spectrales. L'information obtenue est trop importante pour être utilisée dans son ensemble, mais l'œil humain peut détecter des tendances en se focalisant sur certaines parties de l'image. De même, il est très important dans la génération d'une ACP d'enlever par un masque toutes les parties de l'image que l'on ne souhaite pas analyser pour éviter de mettre en évidence des éléments nuisibles à la lecture du résultat



fig. 74) Illustration de la corrélation entre zones humides des inventaires et ACP : on voit nettement la zone humide ressortir plus sombre

L'ACP a l'avantage de donner une vision globale de l'information contenue dans les multiples bandes spectrales des images.

Dans le cas présent, nous avons contraint le calcul statistique sur des cibles particulières (les inventaires de zones humides à notre disposition) afin de les mettre en évidence et procurer une aide précieuse au photo-interprète dans ces choix de délimitation.

Le second intérêt d'un traitement d'image ACP dans la reconnaissance des plans d'eau est non négligeable, car elle permet de lever des doutes sur la BD ORTHO mais aussi de mettre en évidence ceux de petite taille ou masqués.

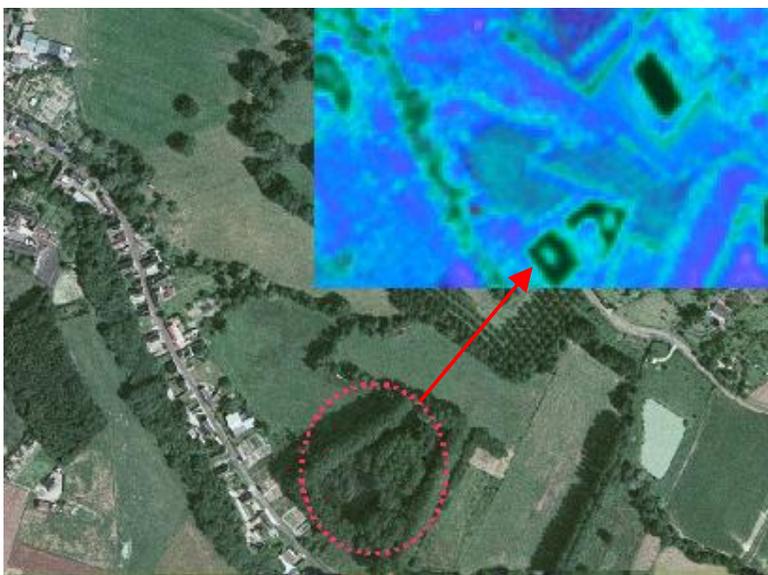


fig. 75) Illustration de la détection d'un plan d'eau sur ACP alors qu'il est difficile à identifier sur la BD ORTHO



fig. 76) Illustration de la détection d'un plan d'eau sur ACP d'images Rapideye

E) Données aériennes : BD ORTHO

Pour la réalisation du projet, une mosaïque de BD ORTHO d'origines et de dates différentes a été utilisée.

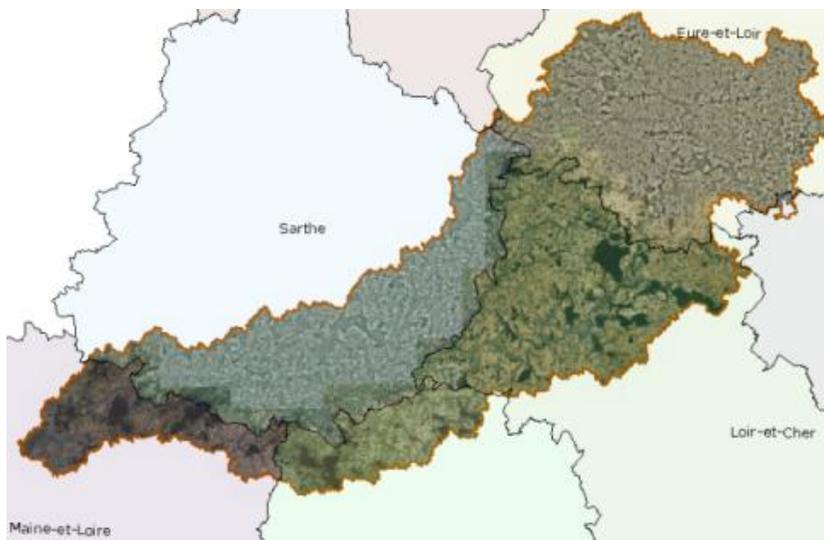


fig. 77) Illustration des différentes BD ORTHO utilisées

La BD ORTHO de l'IGN est de qualité variable en fonction des départements, ceci est surtout lié à la date d'acquisition des photos. De plus, avec les capteurs numériques récents, la qualité est meilleure tant au niveau précision que radiométrique.

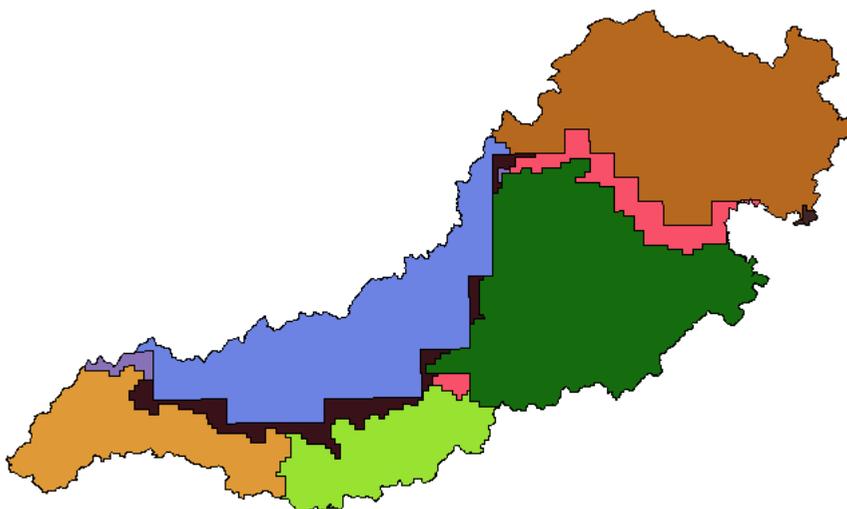


fig. 78) Illustration de l'hétérogénéité des BD ORTHO : 7 sources différentes identifiées

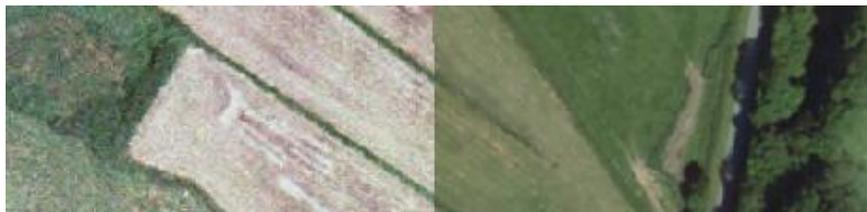


fig. 79) Illustration de la différence de qualités de 2 BD ORTHO

De ce fait, la qualité fait qu'il est parfois difficile d'affirmer qu'il s'agit de surfaces en herbes ou en eau comme le montre l'exemple ci-dessous.



fig. 80) Illustration de la difficulté a identifier les plans d'eau sur certaines BD Ortho

IV) Photo-interprétation

1) Échelles de travail

Nous avons travaillé à échelle constante afin de conserver une homogénéité de densité de polygones en utilisant les fonctions de zoom pour faciliter la détermination ou la délimitation plus précise d'un thème. La photo - interprétation s'est effectuée en multi -fenêtrage sur poste tri-écran ce qui permet de consulter simultanément des documents cartographiques d'origine ou d'échelle différente si besoin est. L'échelle a été fixée au 1/2500 pour le tracé des zones humides.

2) Typologie de photo-interprétation

Chaque type de zone humide a ses propres caractéristiques tant au niveau biodiversité qu'au niveau fonction. Toutefois, comme il a été indiqué lors de l'une des réunions du comité technique, il est impossible de quantifier l'intérêt d'un type de zone humide par rapport à une autre. En effet, le potentiel du réservoir biologique est fonction de l'état de santé de la zone humide et non de son type.

C'est avant tout le niveau de dégradation d'une zone humide qui fait son efficacité.

CODE	Nomenclature
1	Boisement organisé
2	Champ humide
3	Peupleraie
4	Ripisylve
5	Zone humide ponctuelle
6	Zone humide de bordure de cours d'eau
7	Zone humide artificialisée
8	Zone humide de bordure de plan d'eau

fig. 81) Table de la typologie de la nomenclature finale retenue

Explications de la nomenclature utilisée lors de l'interprétation :

Les zones humides de type boisement organisé

Au sein de la classe nommée « boisement organisé » sont inclus les boisements organisés en milieu forestier ou non, mais aussi les peupleraies dont l'identification était délicate. Nous avons donc préféré les inclure par prudence dans cette classe.

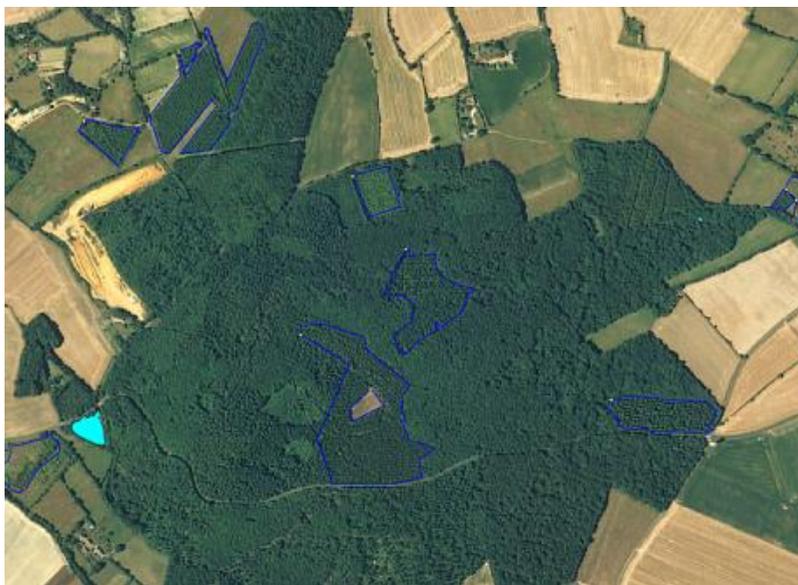


fig. 82) Illustration des zones humides de type boisement organisé

Les zones humides de type « champ humide »

La classe « champ humide » regroupe les champs et les prairies détectés comme humides via les images satellites et les photographies aériennes. Ces zones humides sont bien visibles sur le canal Infra-Rouge : une tache sombre est détectée à l'échelle d'une parcelle agricole.

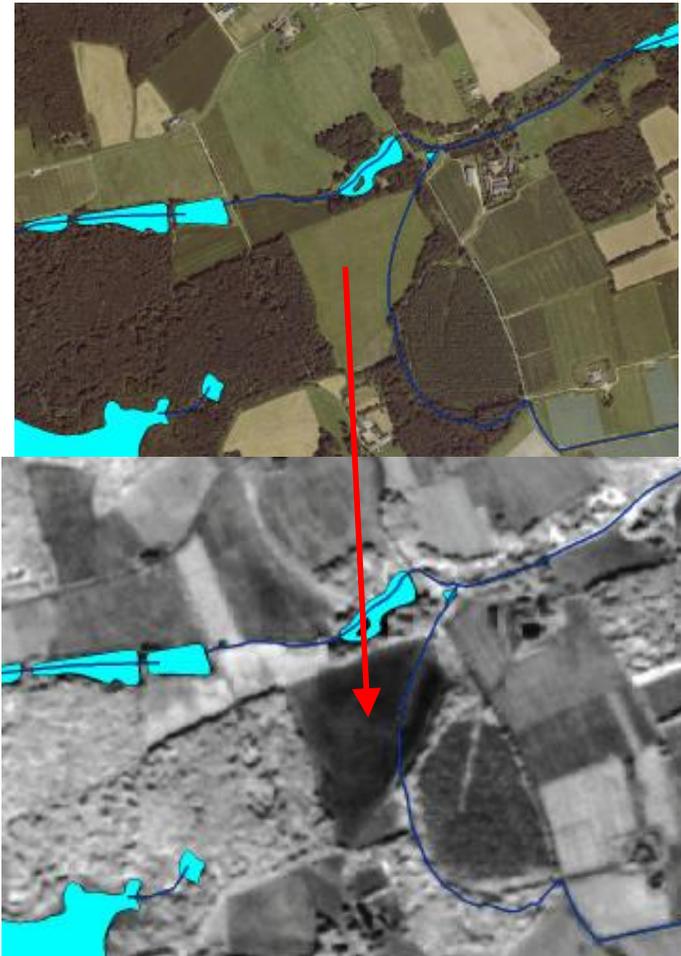


fig. 83) Illustration des zones humides de type « champ humide »

Les peupleraies



fig. 84) Illustration des zones humides de type peupleraies

Au sein de la classe peupleraie sont regroupées les jeunes peupleraies et les peupleraies matures. Elles diffèrent des boisements organisés de part leur canopée très reconnaissable ainsi que leurs ombres portées au sol.

Les ripisylves



fig. 85) Illustration des zones humides de type ripisylves

Cette catégorie englobe l'ensemble des formations boisées et buissonnantes situées de part et d'autre des rives des cours d'eau, des plans d'eau et des drainages.

Les zones humides ponctuelles .

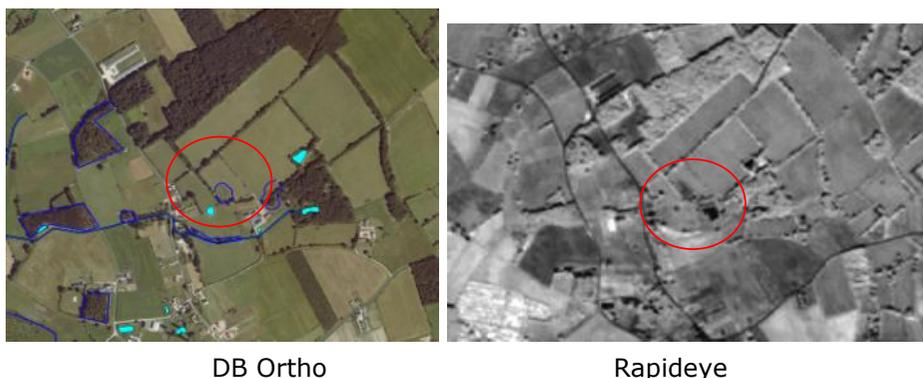


fig. 86) Illustration d'une zone humide de type « ponctuelle »

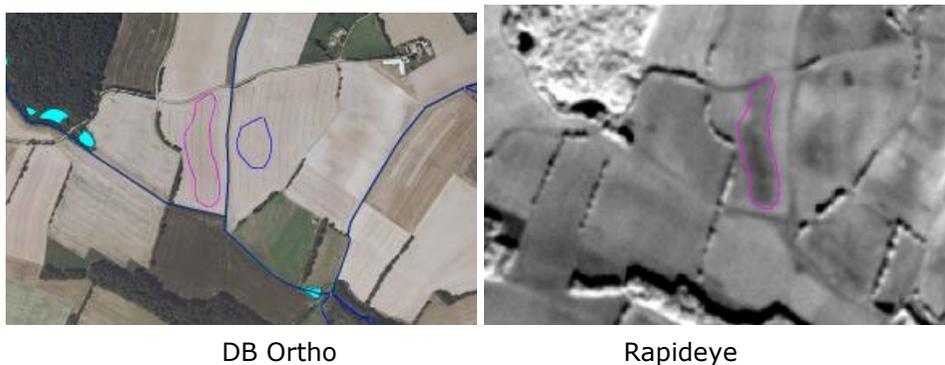


fig. 87) Illustration d'une autre zone humide de type « ponctuelle »

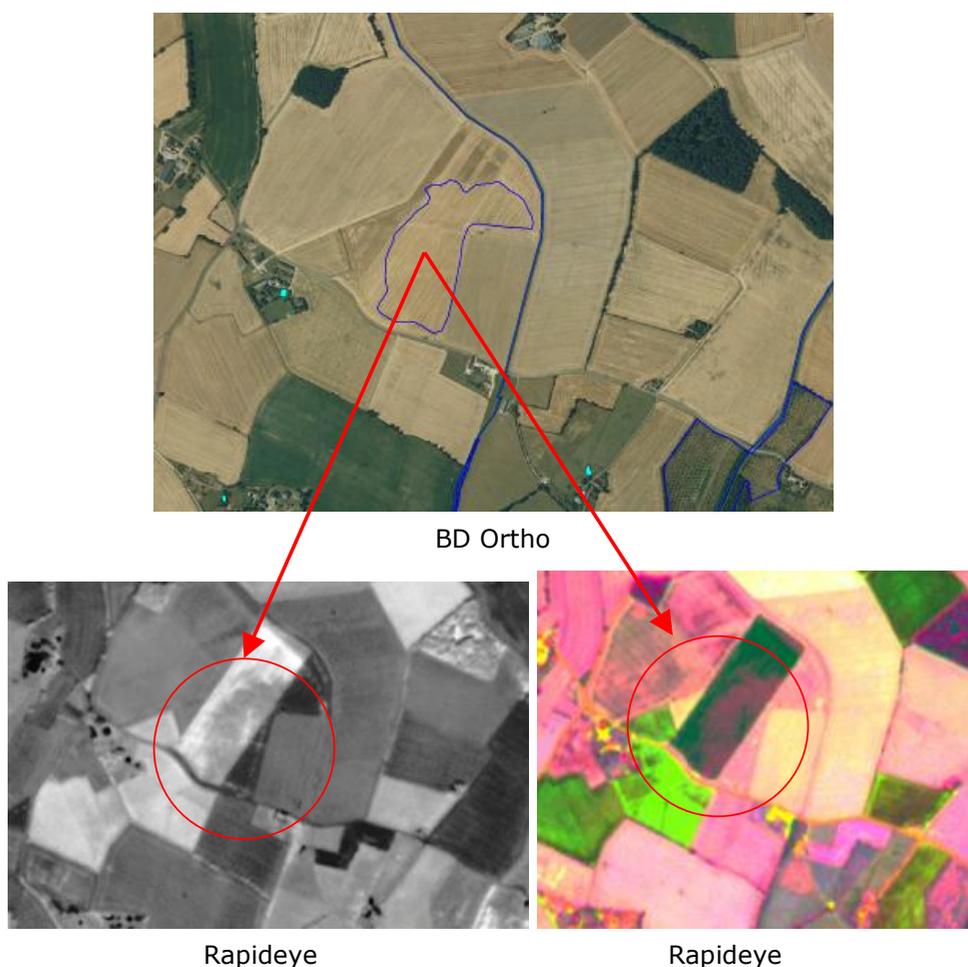
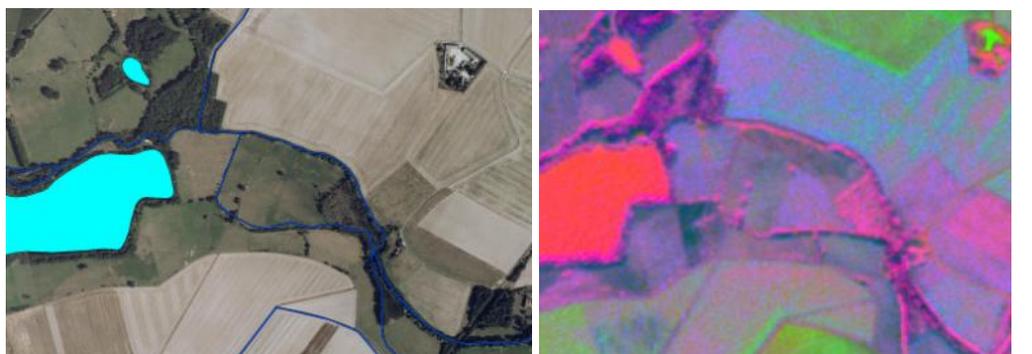


fig. 88) Illustration des zones humides de type « ponctuelles » sur différents types d'images.

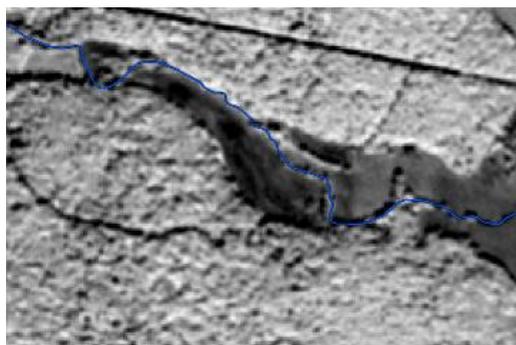
La classe intitulée « zone humide ponctuelle » intègre les traces d'humidité (zones indiquant d'un point de vue radiométrique et texturale de l'humidité dans le sol – leur étendue est relativement restreinte, inférieure à une parcelle agricole), les zones humides ponctuelles (ce sont de très petites zones, souvent circulaire, indiquant une forte présence d'humidité), les traces

d'écoulement (ce sont des traces d'écoulement d'eau dans les champs en direction des vallées) et les clairières humides.

Les zones humides de bordure de cours d'eau



DB Ortho



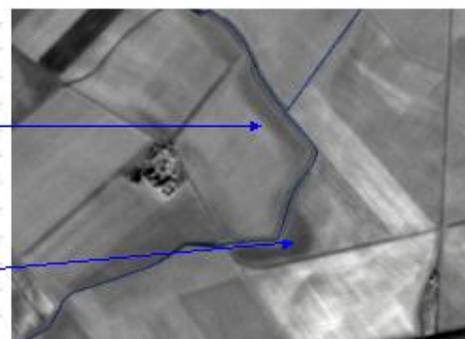
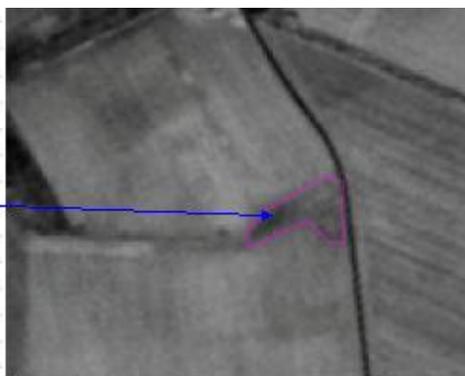
Rapideye

fig. 89) Illustration des zones humides de type « bordure de cours d'eau » sur différents types d'images.

Les zones humides de bordure de cours d'eau sont en général des zones de prairies, des champs cultivés ou non, des zones en friches, ou des pelouses ayant une réponse humide et qui sont proche d'un cours d'eau. Ces zones ne bordent pas de manière générale directement le cours d'eau.

Les zones humides artificialisées

Les zones humides anthropisées, les zones humides de bord de drainage et les zones humides de carrière sont inclus dans la classe « zone humide artificialisée »



DB Ortho

Rapideye

fig. 90) Illustration des zones humides artificialisées sur différents types d'images.

Les zones humides de bordure de plan d'eau

Ces zones humides sont situées sur la périphérie des plans d'eau. Toute zone qui a une réponse spectrale humide se situant en bordure de plan d'eau sera intégrée à cette classe.

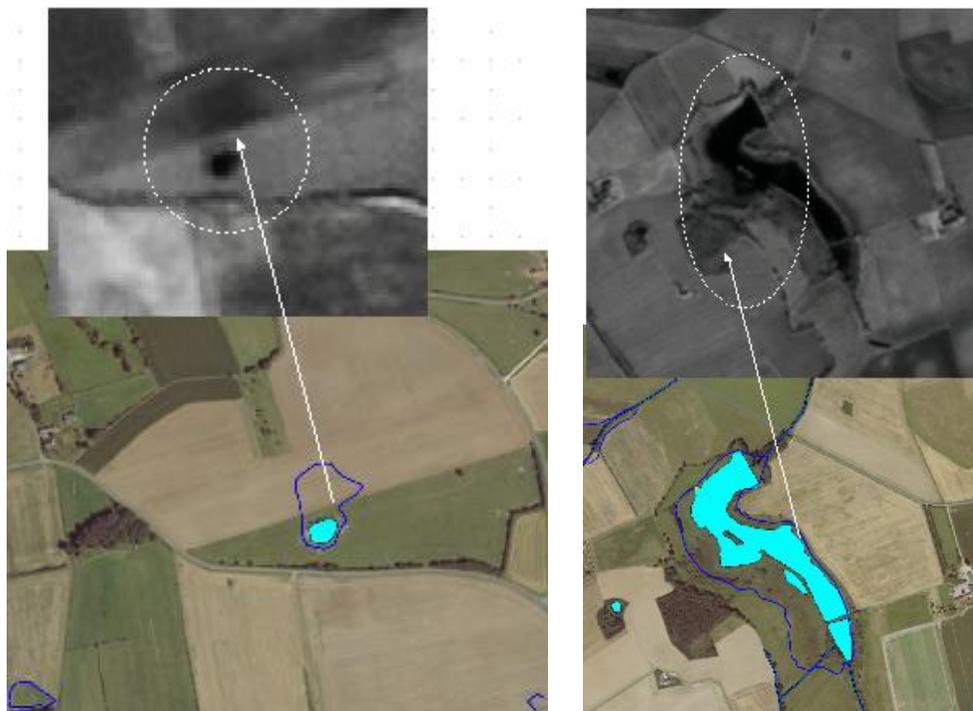
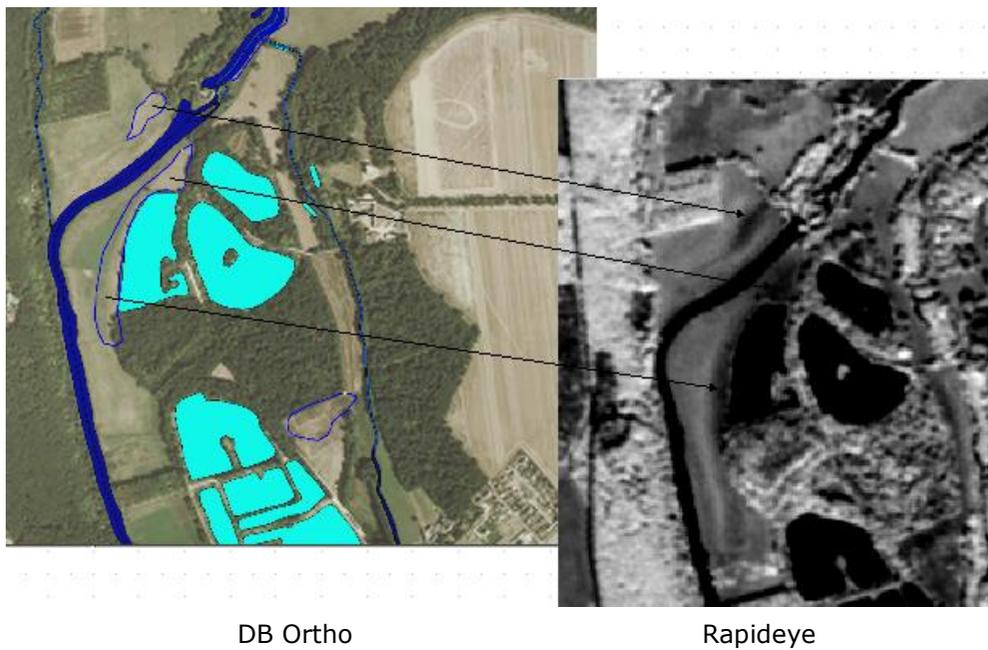


fig. 91) Illustration des zones humides de type « bordure de plans d'eau » sur différents types d'images.

La distinction est parfois difficile entre les zones humides de bord de cours d'eau et les zones humides de bordure de plan d'eau:



fig. 92) Illustration de la différenciation difficile entre zones humides de bordure de plans d'eau et zones humides de bordure de cours d'eau

3) Méthodologie de photo-interprétation

A) Rappel des zones de travail

La zone de travail était divisée en deux secteurs :

La photo-interprétation a été réalisée de façon complète sur les départements de l'Eure-et-Loir, du Loir-et-Cher, du Loiret et de l'Indre-et-Loire, sur la base des orthophotos et des images satellites.

Sur les départements de la Sarthe et du Maine-et-Loire, seules les images satellites ont été utilisées, car ces deux départements avaient déjà réalisé une prélocalisation sur BD ORTHO. Il s'agissait donc de compléter la base de données existante.

Toutefois, il faut noter que n'ayant pas eu la version définitive du travail sur le Maine-et-Loire avant la fin de la photo-interprétation, le travail de délimitation sur le Maine-et-Loire a été presque intégralement refait comme sur les autres départements.

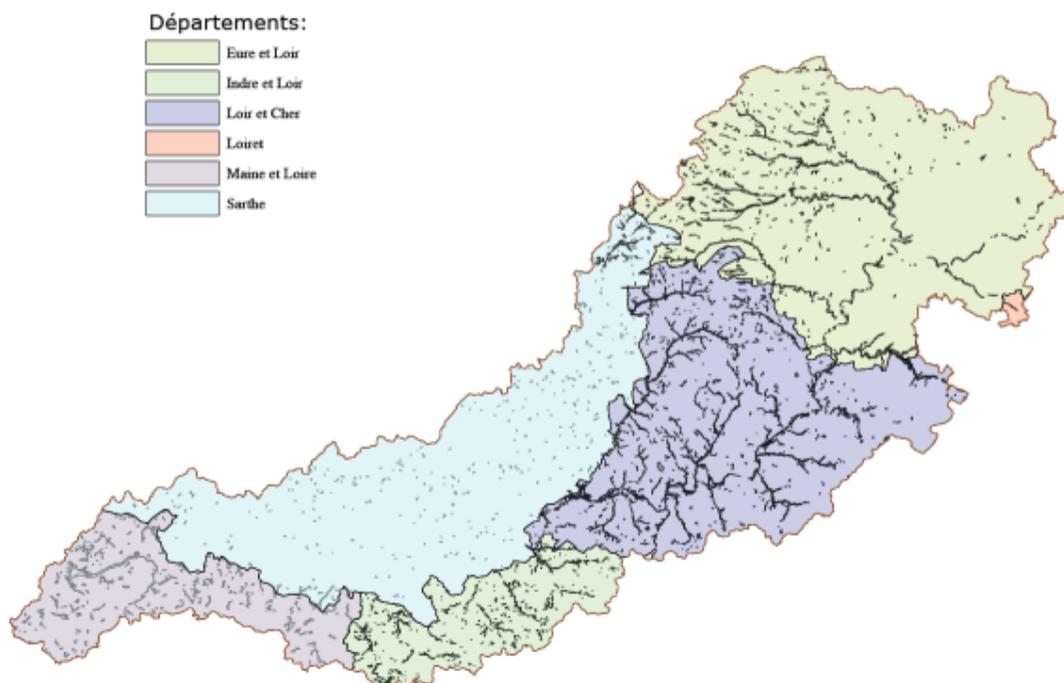


fig. 93) Carte du résultat de la photo-interprétation

Sur cette carte, on distingue nettement la partie de la Sarthe qui représente juste le complément de ce qui avait déjà été inventorié.

B) Méthodologie

La cartographie s'est effectuée de façon uniquement manuelle. Les images de références pour cette photo-interprétation sont les images AVNIR et RAPIDEYE. Les traitements d'images n'ont été utilisés qu'à titre de support pour mieux faire ressortir certaines zones ou conforter le choix de délimitation par exemple, mais en aucun cas comme base de délimitation vectorielle. Le traitement d'image est utilisé pour mettre en évidence les zones humides, mais le photo-interprète reste maître de la décision.

La finalité de l'interprétation est de produire une couche vectorielle complémentaire des données exogènes indiquant la présence d'humidité en surface. L'interprétation permet de caractériser des zones dans les parties agricoles sur lesquelles on a généralement peu d'information. En effet, les traces ayant une réponse spectrale faible sont détectables dans les zones de sols nus. Néanmoins, à certains endroits, la réponse spectrale dans les parcelles cultivées peut être légèrement différente et visible dans les zones de drainage ou dépressionnaires.

La photo-interprétation des zones humides consiste à réaliser un zonage issu de l'observation des images satellitales visibles et infrarouges puisque les images possédant des canaux infrarouges font ressortir l'humidité latente.

L'identification des zones humides s'est effectuée selon les critères suivants :

- Teinte/couleur sur les images vis ibles.
- Forme et répartition (présence de cours d'eau ou ripisylves à proximité).

La multitude de facteurs environnementaux pouvant conduire à l'existence d'une zone humide doit être prise en compte au moment de la photo-interprétation : les modifications paysagères en zones agricoles (labour, récolte, défrichage...) ou les conditions météorologiques récentes qui modifient les conditions micro-climatiques et changent le signal. La corrélation avec le réseau hydrographique doit être vérifiée lors de l'interprétation. Il semble que certaines zones humides aient un fonctionnement indépendant du réseau global et correspondent à des micro-dépressions.

Cette interprétation a pour but de délimiter des zones dont le caractère humide semble potentiel. Le caractère avéré ne peut être caractérisé que s'il y a un parallèle avec des données. Il faut bien avoir en tête que les images satellitales peuvent permettre de détecter de l'eau ou de l'humidité en surface sous certaines conditions, mais que cela ne veut pas dire que la zone en dessous présentent les caractéristiques des zones humides selon les critères pédologiques et floristiques mentionnés dans l'arrêté. De même, le fait qu'aucune information de surface n'apparaisse sur l'image satellitale ne signifie pas forcément que le sol ne présente pas d'humidité.

C) Limites de la photo-interprétation

Les images satellitales permettent d'apporter des éléments sur des zones potentiellement humides en fonction de la présence de traces d'humidité en surface détectées par télédétection. Néanmoins, ces zones potentiellement humides par photo-interprétation ne répondent pas forcément aux caractéristiques de zones humides selon les critères pédologiques et floristiques mentionnés dans l'arrêté sur la définition des zones humides. Le caractère humide ou non ne peut être déterminé avec certitude sans effectuer une vérification terrain par sondage pédologique ou inventaire floristique.

Toutes ces traces observables au sol à partir des images satellitales ne correspondent pas forcément à la présence d'humidité en surface. Par exemple, la formation de croûte de battance peut générer une stagnation de l'eau en surface, alors que la principale cause est la texture du sol. De même, un travail superficiel du sol ou un labour peut générer des semelles de labour ou des couches imperméables à faible profondeur, entraînant une retenue d'eau superficielle. A contrario, le fait qu'aucune information de surface n'apparaisse sur l'image satellitale ne signifie pas

forcément que le sol ne présente pas d'humidité. L'analyse a montré que des confusions étaient possibles, sans qu'elles aient pu être quantifiées. Cependant, ces erreurs ou confusions peuvent être minimisées en faisant une corrélation avec des données exogènes (en particulier avec le rése au hydrographique, l'IBK ou d'autres données comme les cartes de Cassini). Néanmoins, en fonction de la précision de ces données, certaines confusions ne pourront être levées.

D'autre part, la télédétection est limitée aux zones présentant des sols nus ou faiblement végétalisés. À l'intérieur de ces zones agricoles, la détection est dépendante de l'assolement. Il existe rarement une période où toutes les parcelles de culture présentent un sol nu. Il est donc nécessaire de travailler avec des images de plusieurs dates d'acquisition afin d'essayer d'obtenir au final un continuum et de limiter les erreurs d'interprétation.

Il est nécessaire de préciser que les polygones réalisés à partir de la photo-interprétation ne correspondent pas à une délimitation précise de zones humides. Les limites sont donc floues et représentent une globalisation des réponses spectrales liées à la présence d'humidité de surface et entachées de critères de délimitation subjectifs propres au photo -interprète.

Pour pallier à ces divers problèmes, un indice de confiance a été ajouté lors de la photo-interprétation. Un indice de confiance est attribué pour chaque polygone interprété.

- L'indice de confiance 1 est associé à toute zone dont l'interprétation est fiable (croisements de données entre la BD ORTHO et les différents traitements sur les images satellitales.
- L'indice de confiance 2 est attribué aux zones dont l'emprise, la localisation ou la terminologie ne sont pas certaines – interprétation moins fiable.
- L'indice 3 est associé aux zones douteuses.
- L'indice 4 est appliqué aux zones qui devraient être humides au regard de la situation topographique et géographique, mais non visibles à la photo-interprétation

4) Résultats de la photo-interprétation

L'ensemble des polygones interprétés en tant que zones humides avoisine les 4800 objets. Ils se divisent en 8 classes définies au chapitre IV - 2). Au sein de ces classes, nous observons certaines différences de représentativité statistiques.

Prélocalisation des zones humides – SAGE LOIR

Leurs représentativités en % de surface ainsi qu'en % d'occurrences sont indiquées dans le tableau suivant :

Typologie	% de surface de zones humides	% d'occurrence de zones humides	Surface en m ²
Boisements organisés	10.52	12.57	19 761
Champs humides	8.40	9.83	20 152
Peupleraies	4.80	7.13	15 874
Ripisylves	15.17	27.86	12 855
Zones humides artificialisées	1.46	1.37	25 090
Zones humides de bordure de plans d'eau	7.80	7.76	23 762
Zones humides de bordure de cours d'eau	42.67	24.02	41 931
Zones humides ponctuelles	9.17	9.45	22 902

fig. 94) Tableau des statistiques du travail de photo-interprétation

On remarque une forte proportion des zones humides de bordure de cours d'eau, que ce soit en nombre de polygones (24%) et en surface totale (42.7%). Ceci est dû au fait que cette classe regroupe toute zone repérée comme humide située en bordure d'un cours d'eau, mais aussi les zones humides de vallées alluviales qui sont généralement de larges polygones.

Les ripisylves ont le taux d'occurrence le plus élevé avec presque 28% des polygones. Cependant, leur surface ne représente que 15,17%. En effet, les ripisylves sont très nombreuses sur le territoire du bassin du Loir, mais sont essentiellement constituées de polygones très étroits longeant les cours d'eau. Leur superficie totale est donc relativement faible.

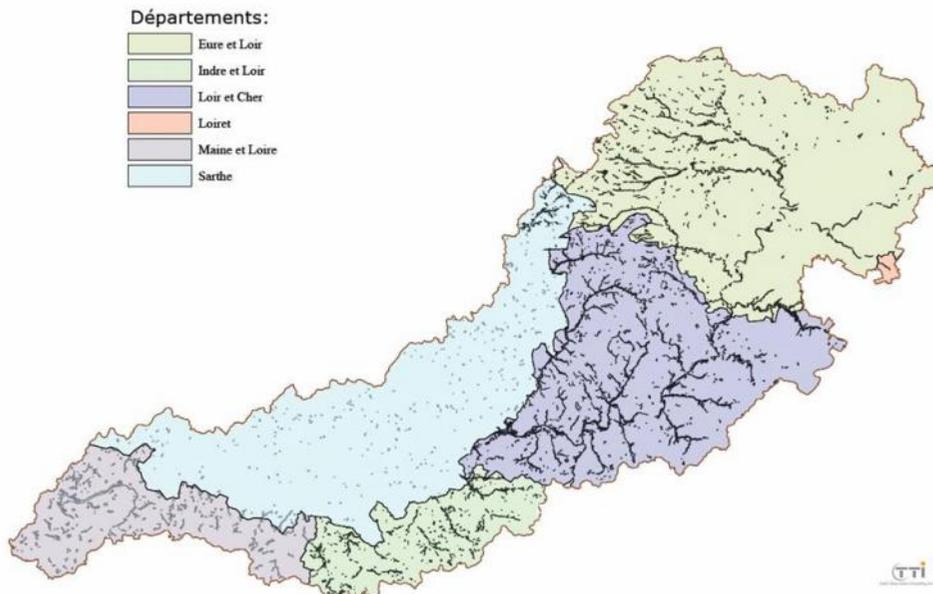


fig. 95) Carte de pré localisation des zones humides sur l'ensemble du territoire du bassin du Loir

La photo-interprétation a été réalisée sur les départements de l'Eure-et-Loir, du Loir-et-Cher, du Loiret et de l'Indre-et-Loire, sur la base des ortho-photos et des images satellites. Sur les départements de la Sarthe et du Maine-et-Loire, seules les images satellites ont été utilisées.

La répartition par département des résultats de photo-interprétation est présentée en ANNEXE 5.

IV) Assemblage des couches d'informations.

Le croisement de toutes ces données est une opération délicate étant donné les origines très hétérogènes des couches d'information, surtout dans un processus de fusion où les précisions des données sont différentes.

D'un point de vue technique et topologique, l'ordre de fusion des couches ne suit pas forcément l'ordre de priorité thématique des enveloppes. On part des couches les plus complexes et l'on intègre après les couches les moins complexes en tenant compte de leur priorité par rapport au type d'enveloppe et l'on réaffecte les codes d'enveloppe appropriés pour les polygones d'intersection en fonction de leur priorité.

1) Méthodologie générale

On part, en priorité, de la classe contenant tous les éléments en eau que l'on ne considère pas comme humide : les plans d'eau et les cours d'eau dont l'emprise n'est pas discutable, car ils sont réellement observés sur la BD ORTHO. En second, le «buffer» autour des plans d'eau et cours d'eau fusionné avec l'IBK. Puis le regroupement des inventaires collectés vient ensuite en priorité. Enfin, les limites des zones photo-interprétées viennent terminer l'assemblage de la couche.

Explication des priorités des couches les unes par rapport aux autres dans l'assemblage :

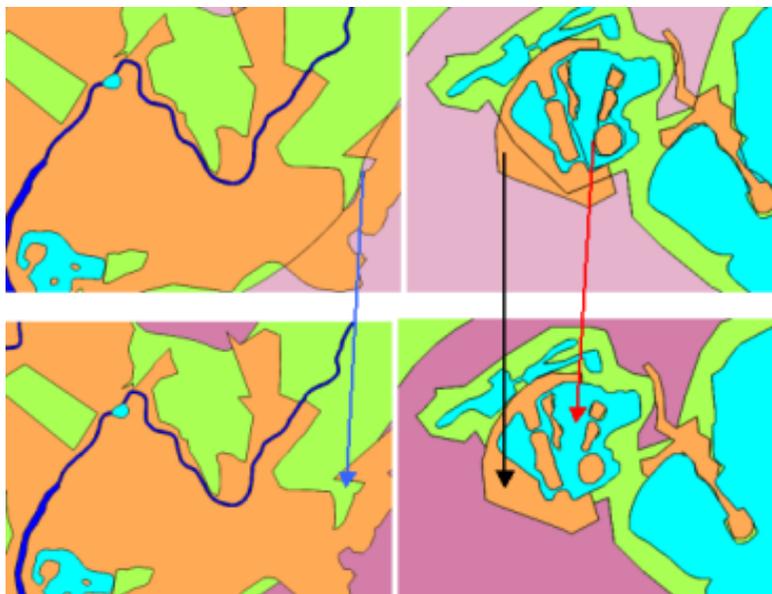


fig. 96) Illustration du type de traitements à réaliser sur les couches plans d'eau + «buffer» et inventaires fusionnés

- **Cas 1 (flèche noire)** : les limites du «buffer»-eau contenues dans les polygones d'inventaire doivent disparaître, car ces derniers sont prioritaires.
- **Cas 2 (flèche bleue)** : En raison des limites imprécises de certaines couches, il n'est pas rare que de petits « vides » se forment, ils sont alors

réaffectés au polygone le moins prioritaire dans la limite de 1500 m² soit environ 2.5 mm² sur une carte au 1/25 000.

- **Cas 3 (flèche rouge)** : les limites de la couche « inventaire » contenues dans les polygones "cours d'eau" et "plans d'eau" doivent disparaître. Le plus souvent, ces limites apparaissent à cause de la différence d'échelle des données. Ici, le tracé des « inventaires » étant moins précis que la délimitation des plans d'eau, fait que la zone délimitait une seule île dans le plan d'eau alors qu'en réalité, il y en a trois. Le polygone d'inventaire est donc redécoupé en utilisant les limites des plans d'eau. On voit bien ce travail sur l'exemple ci-dessous.

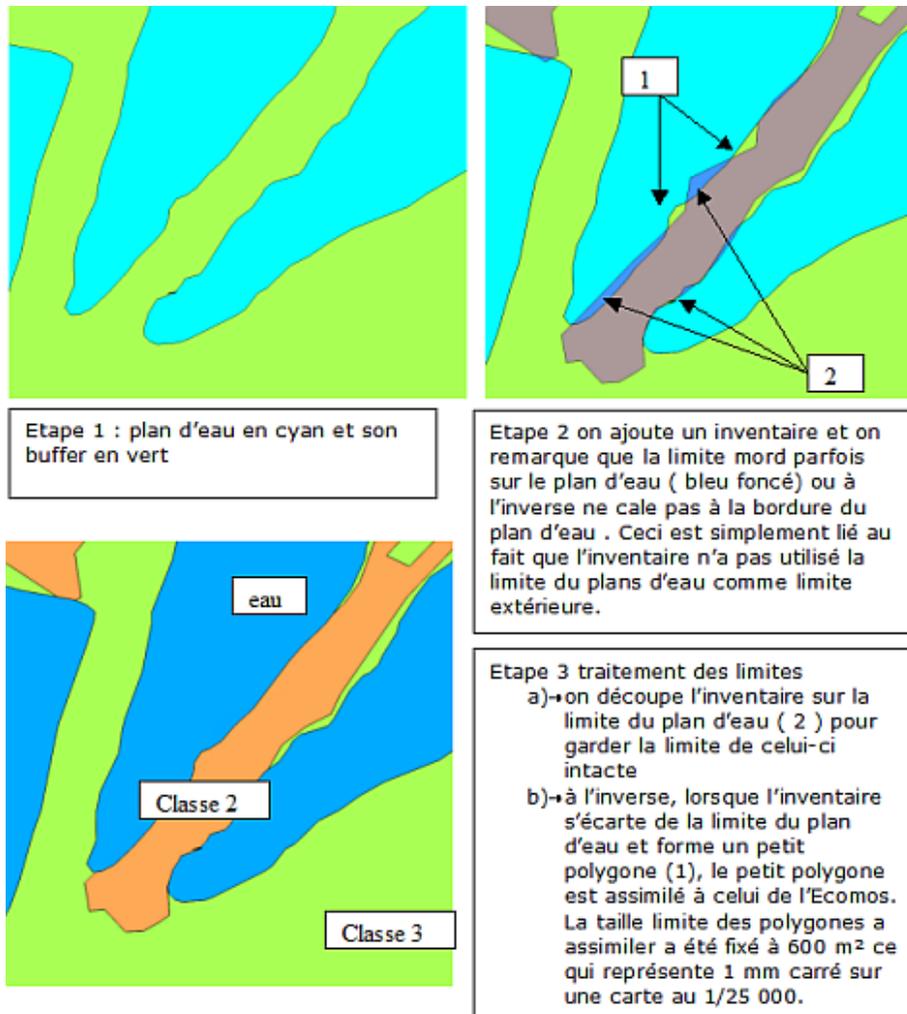


fig. 97) Illustration du type de traitements à réaliser pour éliminer les micro polygones

Un contrôle visuel est nécessaire aussi à la fin de cette étape pour traiter les cas particuliers. On se rend compte, à travers ces procédures, qu'il ne s'agit pas seulement d'effectuer une simple opération de fusion de polygones d'une couche à une autre. Mais, étant donné l'hétérogénéité très forte des données, les différences de précisions de délimitation des polygones et le fait que les études aient été réalisées de façon indépendante les unes par rapport aux autres, cela engendre un résultat très complexe (multitudes de petits polygones qu'il faut soit éliminer, soit attribuer) qui nécessite d'être simplifier pour le rendre cohérent et exploitable.

2) Assemblage des couches "eau" et du "buffer eau" avec l'IBK

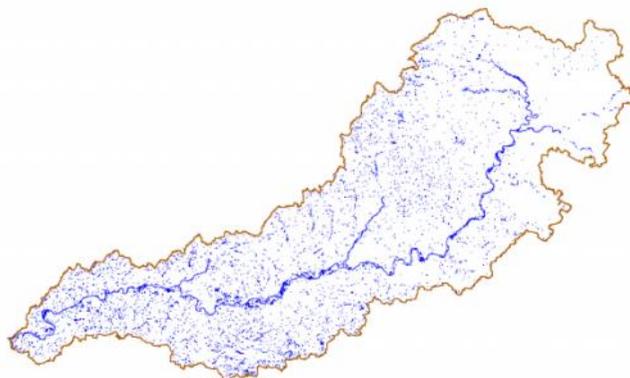


fig. 98) Illustration de la couche polygonale des cours d'eau

La couche "plan d'eau" intègre tous les plans d'eau nécessaires à l'étude. Une couche complémentaire permet d'avoir un inventaire exhaustif des plans d'eau et notamment artificiels, de la BD TOPO qui ont été écartés préalablement (à l'exception des stations d'épuration définitivement supprimées).

À la couche "plan d'eau", utilisée pour l'étude, ont été ajoutés les inventaires de mares mis à notre disposition.

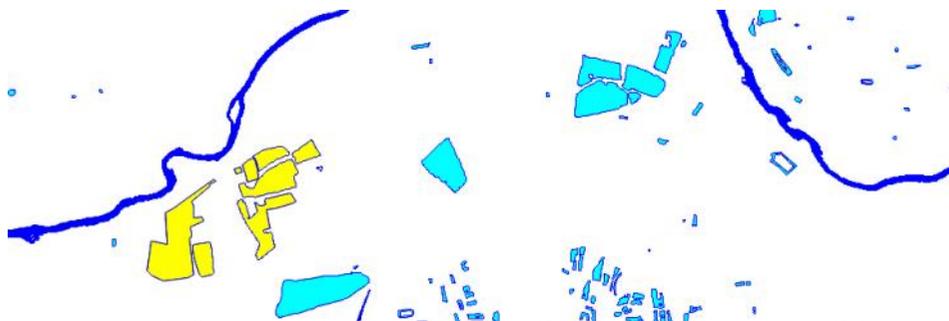


fig. 99) Illustration de la couche "plan d'eau" intégrant trois types d'objets

- A – les cours d'eau larges (en polygones)
- B – les plans d'eau
- C – les plans d'eau de gravières et carrières

Les deux dernières informations seront préservées dans la couche finale alors que la première sera fusionnée avec les cours d'eau sous forme polygonale.

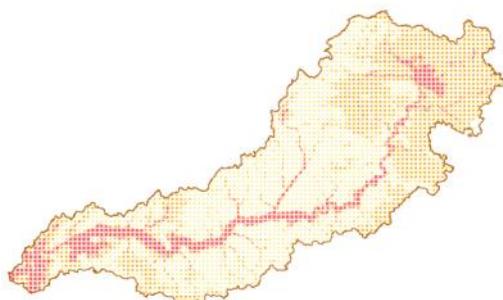


fig. 100) *Illustration de la Fusion de la couche IBK*

La couche IBK avec 3 niveaux de probabilité de présence a préalablement été corrigée afin d'éliminer les effets produits par les courbes de niveau ainsi que les micros polygones produits par la transformation d'image en vecteur.

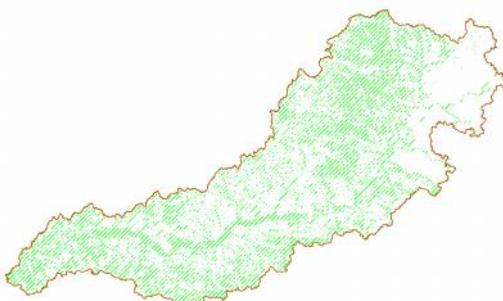


fig. 101) *Illustration de la couche buffer plan d'eau*

La couche buffer plan et cours d'eau est binaire sous forme de polygones vectoriels. Elle correspond à un buffer contraint par la pente sur ces éléments.

La fusion du buffer "cours d'eau" et de l'IBK, permet de générer une couche de probabilité de présence. La combinaison de ces deux couches génère une grande quantité de petits polygones nuisibles à la lecture du document et à la suite des traitements.

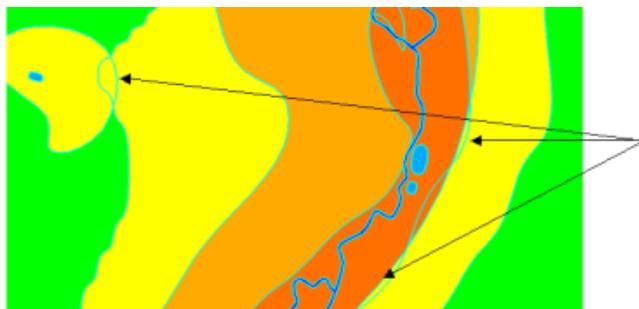


fig. 102) *Traits verts : Anciennes limites de la fusion en « vert »
Illustration du résultat du traitement d'élimination des petits polygones.*

La fusion des couches a été faite en respectant ces règles:

IBK (3 niveaux)	BUFFER EAU (binaire)	INDICE FINAL
1	non	0 (probabilité quasi nulle)
1	oui	1 probabilité faible
2	non	1 probabilité faible
2	oui	2 probabilité moyenne
3	non	2 probabilité moyenne
3	oui	3 probabilité forte

fig. 103) Table des indices retenus pour la fusion des deux informations

On obtient donc un zonage théorique à 4 niveaux de probabilité de présence. S'agissant de probabilité sur un calcul mathématique, il est évident qu'aucun indice de fiabilité ne peut être associé à cette couche.

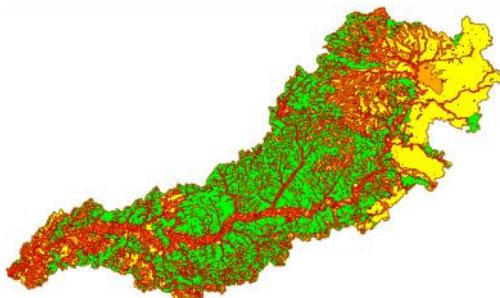


fig. 104) Illustration du résultat de fusion de la couche IBK avec la couche buffer plan d'eau

Dans cette fusion, l'eau est prioritaire par rapport à l'information théorique, elle ne peut donc être modifiée afin de ne pas en altérer les limites.

La fusion des enveloppes théoriques et de la couche eau, génère également une grande quantité de petits polygones nuisibles à la lecture du document et à la suite des traitements. Ils sont donc éliminés dans la mesure du possible suivant des règles de surface et de priorisation de l'information.

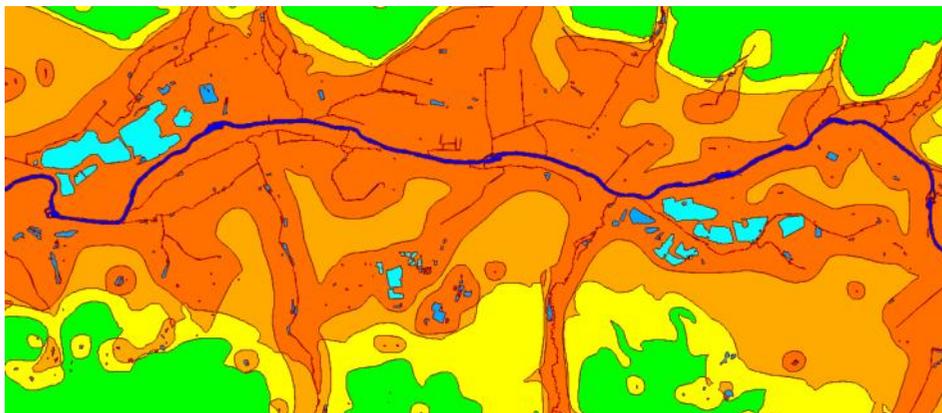


fig. 105) Illustration du résultat de la fusion

3) Intégration des éléments de Cassini

La couche historique de Cassini comprend des polygones qui correspondent à l'ancienne limite des étangs asséchés et des lignes qui correspondent à d'anciens cours d'eau.

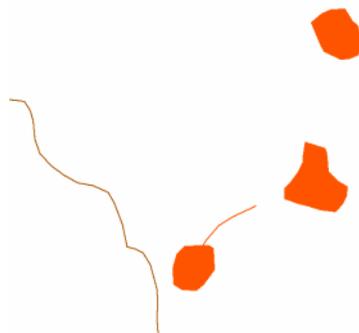
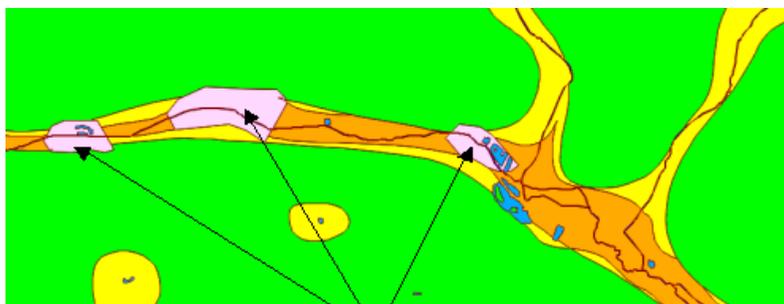


fig. 106) Illustration d'une délimitation d'étangs de Cassini et d'anciens cours d'eau

Comme pour les cours d'eau, les anciens cours d'eau ont été transformés en polygones par un buffer de 2.5 m. La couche des éléments de Cassini est ensuite intégrée dans le zonage déjà réalisé, ce qui consiste en la dernière étape de fabrication du zonage



étangs de Cassini

fig. 107) Illustration de l'intégration des étangs et cours d'eau disparus de Cassini dans la couche fusionnée.

Dans cette fusion, l'eau est prioritaire sur l'information théorique, elle ne peut donc être modifiée afin de ne pas en altérer les limites. Ensuite, les éléments de Cassini étant basé sur des faits historiques (donc validés) ont été considérés comme prioritaires sur les éléments théoriques de l'IBK et des buffers eau

Le résultat final est donc une couche unique en mode polygonale, avec respect des règles de topologie puisqu'aucun trou ni recouvrement n'est présent.

La couche sur l'ensemble du sage est composée de 26 200 polygones codés de la façon suivante :

CODE	Indice de confiance	Probabilité	Intitulé	Diagnostic
100	1	Observation	Cours d'eau	Photo-interprétation
99	1	Observation	Plan d'eau	Photo-interprétation
98	1	Observation	Plan d'eau de gravière	Photo-interprétation
81	4	Forte - Analyse historique	Ancien plan d'eau disparu	Carte de Cassini
80	4	Forte - Analyse historique	Ancien cours d'eau disparu	Carte de Cassini
73	0	Forte - Calcul théorique	Potentiel fort	Combinaison IBK & Buffer
72	0	Moyenne - Calcul théorique	Potentiel moyen	Combinaison IBK & Buffer
71	0	Faible - Calcul théorique	Potentiel faible	Combinaison IBK & Buffer
70	0	Nulle - Calcul théorique	Potentiel nul	Combinaison IBK & Buffer

fig. 108) Table de correspondance entre les codes et les différents champs indiqués de la table attributaire

Les éléments « eau » étant issus d'une photo-interprétation ont un indice de confiance de 1. Les éléments de Cassini ne sont pas observés, mais peuvent hériter d'un indice de confiance 4 (Zones humides « logiques » ou historique)

4) Homogénéisation de la couche d'interprétation avec les inventaires

a) Regroupement des inventaires avec la photo-interprétation

Les deux informations sont complémentaires, car la PIAO n'a pas été intégralement refaite sur les zones d'inventaire, mais a complété ce qui manquait.

Il reste donc à homogénéiser la nomenclature des inventaires avec celle de la PIAO. Pour cela, nous avons fait des correspondances, mais cela n'était pas suffisant et nous avons été obligés de procéder à des requêtes pour tenter d'approcher au mieux d'une couche thématiquement homogène.

Le regroupement final donne la nomenclature suivante :

CODE	Nomenclature actuelle (PIAO)	Ancienne nomenclature des inventaires
1	Zone humide artificialisée	Zone antérieurement humide + Prairie humide, Friches humides, Zone humide en culture (*)
2	Zone humide de bordure de cours d'eau	Prairie humide, Friches humides, Zone humide en culture (**)
3	Zone humide de bordure de plan d'eau	Prairie humide, Friches humides, Zone humide en culture (***)
4	Zone humide ponctuelle	Zone humide en culture que les différentes requêtes n'ont pas classée en 1, 2 ou 3
5	Boisement organise	Boisement humide que la requête n'a pas classé en 7
6	Peupliers	Peupliers
7	Ripisylve	Boisement humide (****)
8	Champ humide	Prairies humides, friches humides que les différentes requêtes n'ont pas classées en 1, 2 ou 3
9	Zone de marais	Zone de marais

fig. 109) *Table de correspondance entre la nouvelle et l'ancienne nomenclature*

* requête sur la présence d'un polygone adjacent de nature « plan d'eau de gravière ou carrière » le rapport de la périphérie du polygone sur le linéaire de tronçons de lignes « cours d'eau » doit être inférieur à 4

** requête sur la présence d'un polygone adjacent de nature « cours d'eau » le rapport de la périphérie du polygone sur le linéaire de tronçons de lignes « cours d'eau » doit être inférieur à 4

*** requête sur la présence d'un polygone adjacent de nature « plan d'eau » le rapport de la périphérie du polygone sur le linéaire de tronçons de lignes « cours d'eau » doit être inférieur à 5

**** requête sur la présence d'un polygone adjacent de nature « cours d'eau » ET le rapport de la périphérie du polygone sur le linéaire de tronçons de lignes « cours d'eau » doit être inférieur à 3

Description des classes :

Les zones humides artificialisées rassemblent les zones humides anthropisées, les zones humides de bord de drainage et les zones humides de carrière/gravières.

Les zones humides de bordure de cours d'eau regroupent les zones humides de vallée alluviale et les zones humides bordant les cours d'eau.

Les zones humides de bordure de plan d'eau sont situées sur la périphérie des plans d'eau. Elles sont souvent associées à des plans d'eau isolés du réseau et sont peu nombreuses.

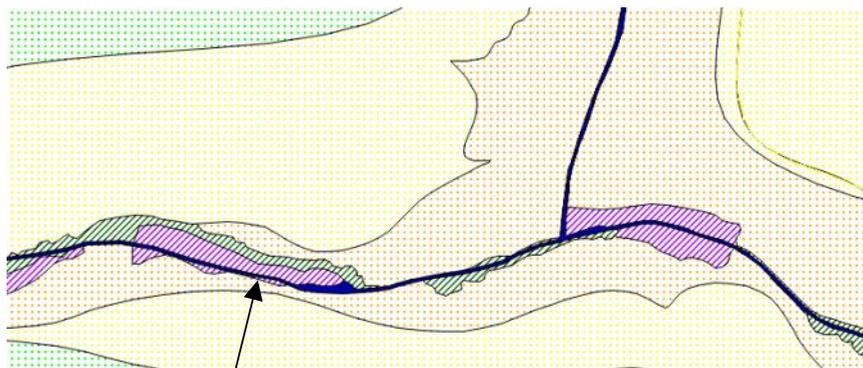
Les zones humides ponctuelles regroupent les traces d'humidité, les zones humides ponctuelles, les traces d'écoulements et les clairières humides.

Les zones humides de type boisement organisé regroupent les boisements organisés et boisements organisés en milieu forestier.

Les ripisylves regroupent les ripisylves de cours d'eau et de drainage.

Les zones humides de type « champ humide » rassemblent les champs présentant d'importantes traces d'humidité et les prairies humides.

Dans chaque cas, les tronçons de lignes composant un polygone de zone humide sont récupérés et classés par longueur, puis par requête, on récupère le code du polygone adjacent. La somme des longueurs d'arc de chaque classe est calculée afin de déterminer le classement final de la zone humide dans la nouvelle nomenclature. Le rapport de périmètre / linéaire des différentes classes est calculé pour évaluer la proportion de parties commune entre un cours d'eau et la zone humide par exemple.



Pour chaque polygone, la détermination des voisins par la longueur d'arc partagée permet de reclasser le polygone
fig. 110) Illustration de la méthodologie de reclassement des petits polygones

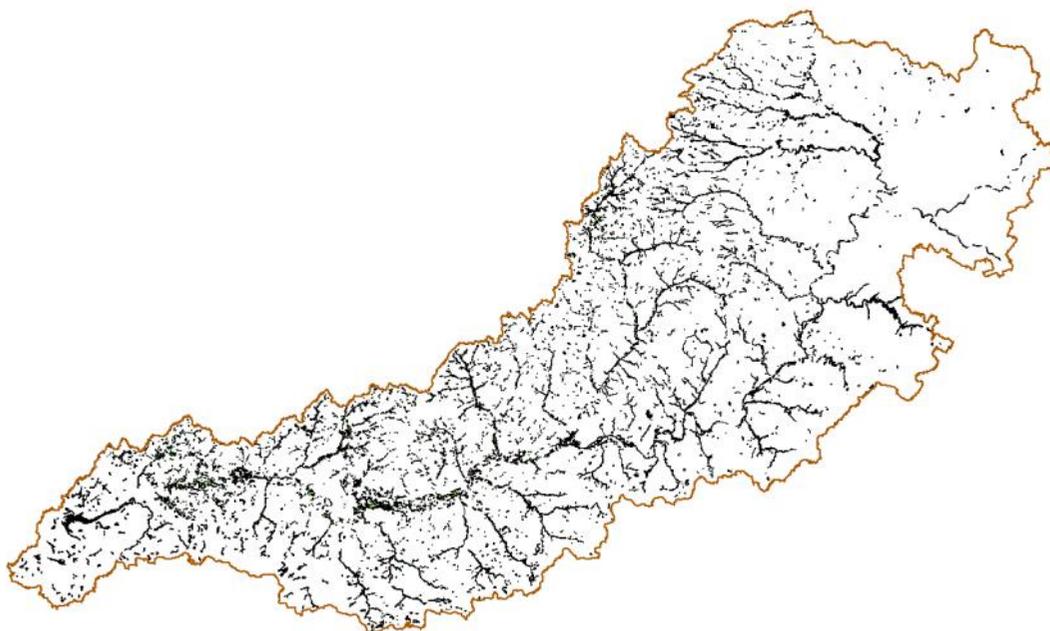


fig. 111) Illustration de la fusion des inventaires et de la PIAO en une couche homogène

b) Regroupement des zones interprétées avec les enveloppes théoriques

Comme il l'a été fait pour toutes les fusions précédemment, la fusion a priorisé certaines classes par rapport à d'autres. Ainsi, l'eau est restée prioritaire, puis en second, les inventaires & PIAO et enfin le zonage. Les tables attributaires ont gardé l'héritage de chaque couche.

CODE	Indice de confiance	Probabilité	Intitulé	Diagnostique
100	1	Observation	Cours d'eau	Photo-interprétation
99	1	Observation	Plan d'eau	Photo-interprétation
98	1	Observation	Plan d'eau de gravière	Photo-interprétation
81	4	Forte historique - Analyse	Ancien plan d'eau disparu	Carte de Cassini
80	4	Forte historique - Analyse	Ancien cours d'eau disparu	Carte de Cassini
73	0	Forte théorique - Calcul	Potentiel fort	Combinaison IBK & Buffer
72	0	Moyenne théorique - Calcul	Potentiel moyen	Combinaison IBK & Buffer

ÉTABLISSEMENT PUBLIC LOIRE
Prélocalisation des zones humides – SAGE LOIR

CODE	Indice de confiance	Probabilité	Intitulé	Diagnostique
71	0	Faible - Calcul théorique	Potentiel faible	Combinaison IBK & Buffer
70	0	Nulle - Calcul théorique	Potentiel nul	Combinaison IBK & Buffer
1	1 à 5	Très forte - Observation	Zone humide artificialisée	Photo-interprétation Ou Terrain ?
2	1 à 5	Très forte - Observation	Zone humide de bordure de cours d'eau	Photo-interprétation Ou Terrain ?
3	1 à 5	Très forte - Observation	Zone humide de bordure de plan d'eau	Photo-interprétation Ou Terrain ?
4	1 à 5	Très forte - Observation	Zone humide ponctuelle	Photo-interprétation Ou Terrain ?
5	1 à 5	Très forte - Observation	Boisement organisé	Photo-interprétation Ou Terrain ?
6	1 à 5	Très forte - Observation	Peupliers	Photo-interprétation Ou Terrain ?
7	1 à 5	Très forte - Observation	Ripisylve	Photo-interprétation Ou Terrain ?
8	1 à 5	Très forte - Observation	Champ humide	Photo-interprétation Ou Terrain ?
9	1 à 5	Très forte - Observation	Zone de marais	Photo-interprétation Ou Terrain ?

fig. 112) *Table résumant la nomenclature finale et les valeurs qu'il est possible de rencontrer dans les différents champs de la table attributaire*

De plus, un champ « ORIGINE » précise la provenance de la donnée entre :

ORIGINE
Étude SAGE Loir - TTI Production
Étude ODS ZH 37 homogénéisée
Étude de prélocalisation du 72
Étude PNR du Perche

fig. 113) Table des différentes valeurs du champ « origine »



fig. 114) Illustration du détail de la couche globale au 1/25 000



fig. 115) Illustration du détail de la couche globale au 1/5 000

De très nombreux petits polygones ont été générés par cette ultime fusion, ces polygones ont été traités par une succession de 7 requêtes essayant de traiter les cas particuliers en respectant de s surfaces minimales et des priorités différentes entre toutes les classes en fonctions des polygones voisins.

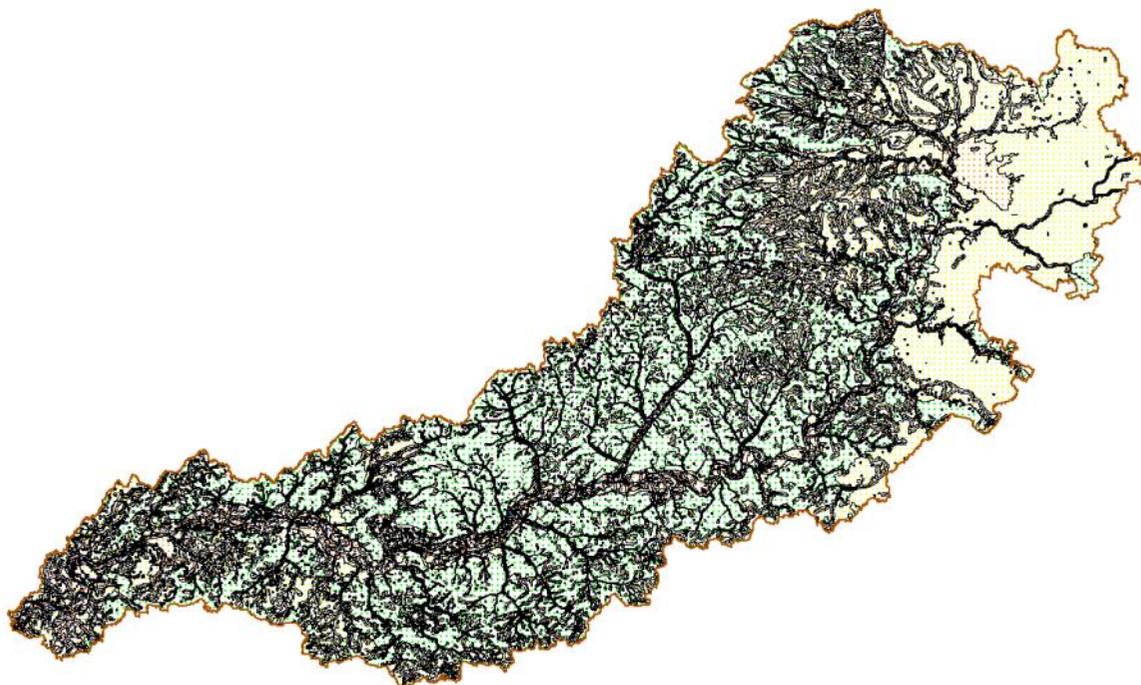


fig. 116) *Illustration de la couche globale*

La fusion des inventaires se compose de 44 500 polygones dans une couche unique en mode polygonale, avec respect des règles de topologie puisqu'aucun trou ni recouvrement n'est présent.

C) Bilan

Au regard des pourcentages de surfaces de zones humides (et non des zones à probabilité de présence de zones humides) à l'échelle du SAGE, on notera que peu de classes dépassent 1 %. Il faut toutefois relativiser ce résultat et regarder la surface réelle que cela représente. Au total, et en excluant les surfaces en eau, on obtient un total de 195 Km² de zones humides identifiées ce qui représente une surface conséquente pour ce territoire.

ÉTABLISSEMENT PUBLIC LOIRE
Prélocalisation des zones humides – SAGE LOIR

Nomenclature	Surfaces en Km ²	Nbr de polygones	% de couverture du Sage
Boisement organisé	22.129	1 815	0.31
Champ humide	72.817	5 668	1.02
Peupleraie	5.634	676	0.08
Ripsisylve	17.127	4 500	0.24
Zone humide ponctuelle	15.415	683	0.22
Zone humide de bordure de cours d'eau	53.911	2 488	0.75
Zone humide artificialisée	2.494	191	0.03
Zone humide de bordure de plan d'eau	5.419	493	0.08
Zone sans potentiel	2903.693	693	40.50
Zone à faible probabilité de présence - Calcul théorique	2516.233	5 394	35.10
Zone à probabilité moyenne de présence - Calcul théorique	1041.265	4 780	14.52
Zone à forte probabilité de présence - Calcul théorique	423.819	2 251	5.91
Ancien cours d'eau disparu - Donnée historique	0.101	13	0.001
Ancien plan d'eau disparu - Donnée historique	16.162	434	0.23
Plan d'eau de carrière / gravière	3.461	116	0.05
Plan d'eau	33.908	12 898	0.47
Cours d'eau (attention : le buffer augmente sans doute la surface réelle)	35.536	191	0.50

fig. 117) *Tableau des pourcentages de surfaces des différentes classes*

BIBLIOGRAPHIE

BONN F., et ROCHON G., 1993 - *Précis de télédétection, volume 1. Principes et méthodes*, presses de l'Université du Québec, AUPELF-UREF, Marquis Montmagny, Québec.

GUYOT G., 1989 - *Signatures spectrales des surfaces naturelles*, Télédétection satellitaire 5, Editec-Paradigme, Caen.

LEBLOND A., SANDOZ A., LEFEBVRE G., ZELLER H. and BICOUT D., 2007 - Remote sensing based identification of environmental risk factor associated with West Nile disease in horses in Ca margue, France, Preventive Veterinary Medicine 79 (2007) p 20 -31.

MACKAY H., FINLAYSON C.M., FERNANDEZ-PRIETO D., DAVIDSON N., PRITCHARD D. and REBELO L.M., 2009 - The role of Earth Observation (EO) technologies in supporting implementation of the Ramsar Convention on Wetlands, Journal of Environmental Management 90 (2009), p 2234-2242.

PETROPOULOS, G.; CARLSON, T. N.; WOOSTER, M. J. and ISLAM, S., 2009 - A review of remote sensing based methods for the retrieval of land surface energy fluxes and soil surface moisture.. Progress in Physical Geography, Apr2009, Vol. 33 Issue 2, p224 -250.

SANDOZ A., CHAUVELON P., PICHAUD M., et BUCKWELL P., 2004, Potentialités d'inventaires et de suivis d'inondation par télédétection satellitale radar, résultats obtenus dans le delta du Rhône (France), Bulletin de la Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection, n° 172 (2003-4), p 69-75.

SANDOZ, A., THAUVIN, N., 2006 - Wetland habitats and flooding duration satellite monitoring. In: FERNANDEZ-PRIETO, D., ARINO, O., BORGES, T., DAVIDSON, N.,

FINLAYSON, M., GRASSL, H., MACKAY, H., PRIGENT, C., PRITCHARD, D., ZALIDIS, G. (Eds.), The GlobWetland Symposium: Summary and Way Forward. Proceedings of GlobWetland Symposium, Looking at Wetlands from Space, October 2006. European Space Agency, Frascati, Italy.

ZOMER R.J., TRABUCCO A and USTIN S.L., 2009 - Building spectral libraries for wetlands land cover classification and hyperspectral remote sensing, Journal of Environmental Management 90 (2009), p 2170 - 2177.

ARNAL G. - 1996 - Les plantes protégées d'Ile-de-France, Collection Parthénope, 349 p.

BOURNERIAS M., ANAL G. & Bock C. - 2001 - Guide des groupements végétaux de la région parisienne - Belin, Paris, 640 p.

Commission européenne (DG XI) - 1997 - Manuel d'interprétation des habitats de l'Union européenne, version EUR15 -109 p.

Conservatoire botanique national du Bassin parisien (2011) : Liste rouge des espèces menacées d'Ile-de-France - La flore vasculaire.

FOURNIER P. - 1990 - Les quatre flores de France (nouveau tirage) - Editions Lechevalier, Paris, 1104 p.

GUINOCHET M, VILMORIN R. (de) - 1973/1984 - Flore de France (5 tomes) - Editions du CNRS, Paris, 1979 p.

JULVE Ph. - 1993 - Synopsis phytosociologique de la France (communautés de plantes vasculaires) - Lejeunia Nouvelle série n°140, 100 p.

LAMBINON J. et al. -1992- Nouvelle flore de la Belgique, du grand-duché du Luxembourg, du nord de la France et des régions voisines -- 4^{ème} édition - Editions du patrimoine du jardin botanique national de Belgique - Meise, 1992, 1092 p.

LEXIQUE

Acidicline (Acidocline)	Qui se développe sur des substrats légèrement acides Qui marque une préférence non exclusive pour les substrats acides
Acidiphile (Acidophile)	Qui se développe, exclusivement ou préférentiellement, sur des substrats acides
Adventice	Se dit d'une plante étrangère (originale d'une région située en dehors du territoire étudié), qui apparaît sporadiquement dans ce territoire, à la suite d'une introduction fortuite, et qui ne persiste que peu de temps dans ses stations.
Amphinaturalisé(e)	Voir Naturalisé(e)
Archéonaturalisé(e)	Voir Naturalisé(e)
Association végétale	Groupement végétal de <u>composition floristique déterminée</u> , regroupant un ensemble d'espèces caractéristiques dont l'optimum écologique est identique ou proche
Biocénose	Ensemble des organismes vivants d'un écosystème, végétaux (phytocénose) et animaux (zoocénose)
Biotope	Ensemble des facteurs physico-chimiques caractérisant un écosystème ou une station (sol, climat, topographie,...)
Calicline	Qui se développe sur des substrats légèrement calcaires Qui marque une préférence non exclusive pour les substrats riches en calcium
Calicole (Calcaricole)	Qui se développe, exclusivement ou préférentiellement, sur des substrats riches en calcium (calcaire, craie, marne)
Ecosystème	Unité écologique de base formée le milieu lui-même et les organismes animaux et végétaux qui y vivent
Ecotone	Zone de contact entre deux habitats naturels (ex. : lisière forestière, ceinture de végétation autour des étangs)
Espèce	Ensemble de tous les individus d'aspect semblable ayant en commun des caractères qui les distinguent au sein d'un même genre et capables d'engendrer des individus féconds
Eutrophe	Se dit d'un milieu naturel ou d'un sol riche en éléments nutritifs, généralement non ou faiblement acide et permettant une forte activité biologique
Formation végétale	Groupement végétal de <u>physionomie homogène</u> (prairie, bois, lande,...)
Hygrophile	Qui a besoin de fortes quantités d'eau tout au long de son développement
Indigène	Se dit d'un taxon se trouvant naturellement dans le territoire considéré
Méso-hygrophile	Qui a besoin d'une certaine quantité d'eau au moins durant une partie de la période de développement (période hivernale) mais peut supporter des conditions relativement sèches en été

ÉTABLISSEMENT PUBLIC LOIRE
Prélocalisation des zones humides – SAGE LOIR

Mésophile	Caractérisé par des conditions moyennes dans un gradient sécheresse-humidité
Mésotrophe	Se dit d'un milieu naturel ou d'un sol moyennement riche en éléments nutritifs, modérément acide et permettant une activité biologique moyenne
Méso-xérophile	Qui vit, peut vivre dans des milieux relativement secs Qui peut supporter des périodes de sécheresse
Naturalisé(e)	Se dit d'une plante étrangère (originale d'une région située en dehors du territoire étudié), introduite fortuitement ou volontairement, mais se comportant actuellement comme une plante indigène. Les taxons introduits et naturalisés (archéonaturalisés) depuis longtemps (un siècle au moins) sont souvent assimilés aux plantes indigènes. Aux côtés des « archéonaturalisés », on peut encore distinguer des « amphinaturalisés » pour des taxons naturalisés récemment sur une très grande échelle et se propageant rapidement en se mêlant à la flore indigène et des « sténonaturalisés » pour tous les autres cas de naturalisation à petite échelle. Il est pratique de réunir les « amphinaturalisés » et les « archéonaturalisés » dans une catégorie à part de naturalisés (« Z »), à caractère indigène prononcé et que l'on peut désigner par la formule "assimilés indigènes". Les limites entre plantes indigènes et archéonaturalisées, de même qu'entre archéonaturalisées, amphinaturalisés et sténonaturalisés sont difficiles à fixer et possèdent donc un caractère un tant soit peu arbitraire.
Nitrophile (Nitratophile)	Qui croît sur des sols riches en nitrates
Oligotrophe	Se dit d'un milieu naturel ou d'un sol très pauvre en éléments nutritifs, très acide et ne permettant qu'une activité biologique réduite
Psammophile	Qui croît sur des substrats sableux
Sciaphile	Qui croît dans les sites ombragés
Station	Etendue de terrain, de superficie variable, homogène dans ses conditions physiques et biologiques (mésoclimat, topographie, composition floristique et structure de la végétation spontanée)
Sténonaturalisé(e)	Voir Naturalisé(e)
Subspontané(e)	Se dit d'une plante cultivée, échappée des jardins ou des champs ou parfois introduite volontairement, persistant plus ou moins longtemps dans ses stations, mais ne se propageant pas en se mêlant à la flore indigène. Si c'est au contraire le cas, elle sera vite naturalisée ou en voie de naturalisation. Cette catégorie inclut aussi les reliques des jardins abandonnés.
Taxon	Unité systématique telle qu'une espèce, une sous-espèce, une variété, un genre, une famille,...
Thermophile	Qui croît de préférence dans des sites chauds et ensoleillés
Turficole	Qui croît sur les substrats tourbeux
Xérophile	Qui vit, peut vivre dans des milieux secs

ANNEXE 1 : Analyse des problématiques observées

1 - Traces dans les champs visibles essentiellement sur les A VNIR et RAPIDEYE

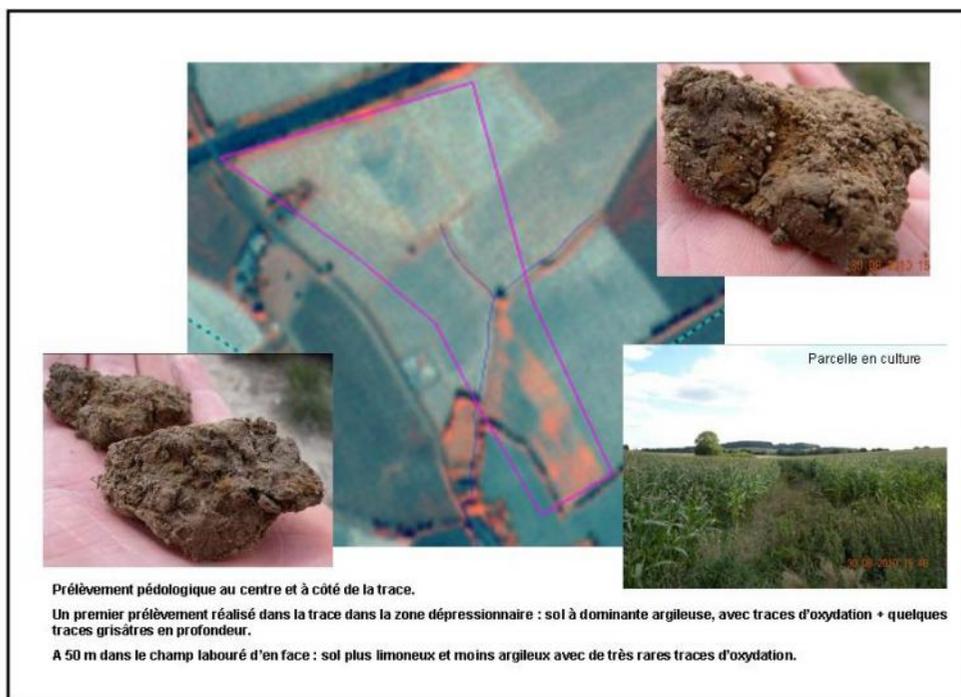
Certaines compositions colorées spécifiques nous ont indiqué, lors de la phase de pré-étude, certaines zones présentant des traces bien visibles dans les champs labourés.

Ces traces linéaires pourraient être assimilées à des écoulements d'eau lors de forte pluie ou de crue.

Pour vérifier cette hypothèse, nous avons sélectionné des parcelles affectées par ce phénomène et nous sommes allés échantillonner le terrain.

Les traces linéaires visibles dans les champs sur les images satellites et sur les photographies aériennes correspondent dans la majorité des cas à des zones humides.

Nous remarquons que la proximité d'un cours d'eau, son prolongement ainsi que la visibilité de la trace sur plusieurs années (observation multi dates) renforce le fait que ce soit une zone humide.



2 - Taches sur certaines parcelles, visibles sur les images satellites et sur la BD Ortho

Sur certaines zones de prairie, nous avons observé des taches de couleur (vert foncé sur la BD Ortho et radiométrie différente sur les images satellites).

Nous nous sommes particulièrement attachés aux variations de couleur verte dans les prairies sur les photographies aériennes, et nous sommes allés vérifier la réalité terrain par relevés pédologiques et observations botaniques.





**prairie mésophile à mésoxérophile sur sables secs – bot 0
Ici, les traces ne correspondent pas à une zone humide en
tant que telle, mais peut-être une zone moins asséchée :
sur les cartes de Cassini un cours d'eau est présent dans
cette zone.**



**Nous observons des traces bien visibles sur la BD Ortho : taches
vert plus ou moins foncé.**

**⇒ Analyse botanique indiquant une prairie mésoxérophile sur
sables : indice botanique = 0**

**⇒ prélèvement pédologique : limon sur silex, sans trace
d'oxydation**

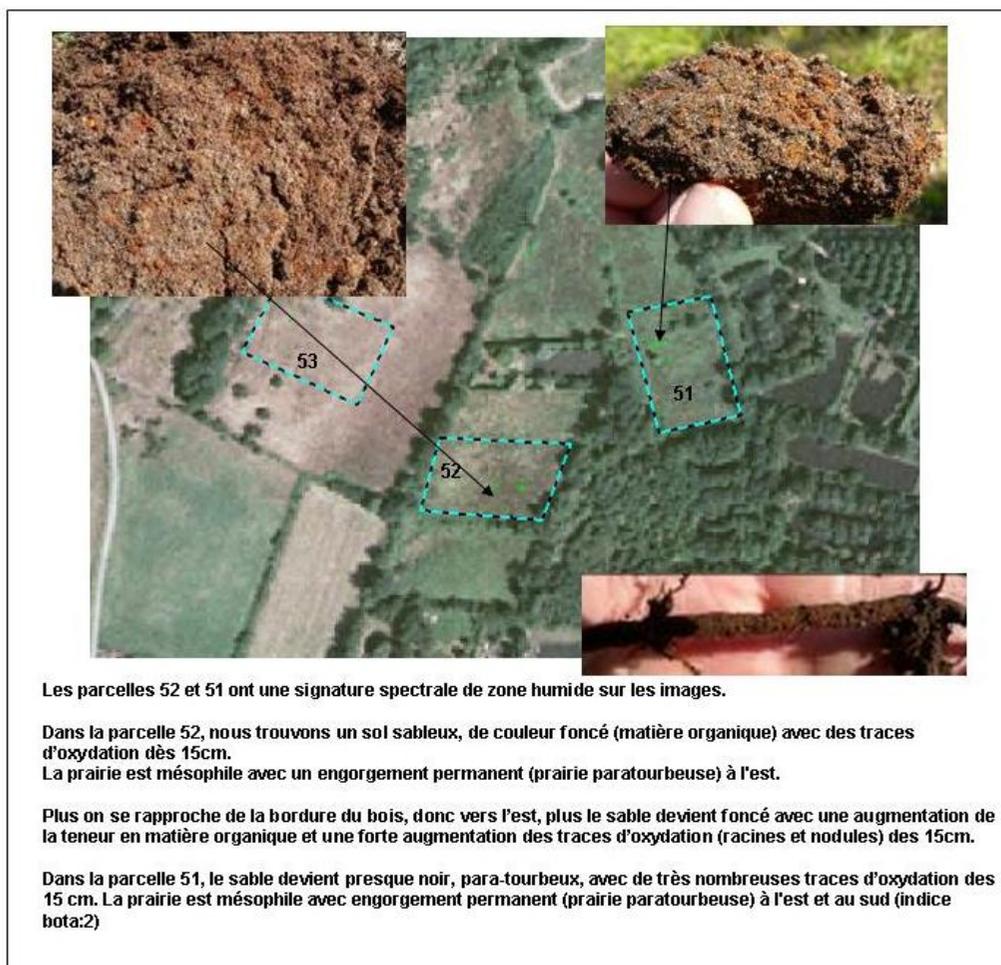
En conclusion, nous constatons que les taches essentiellement visibles dans les parcelles sur les photographies aériennes ne correspondent pas toujours à des zones humides.

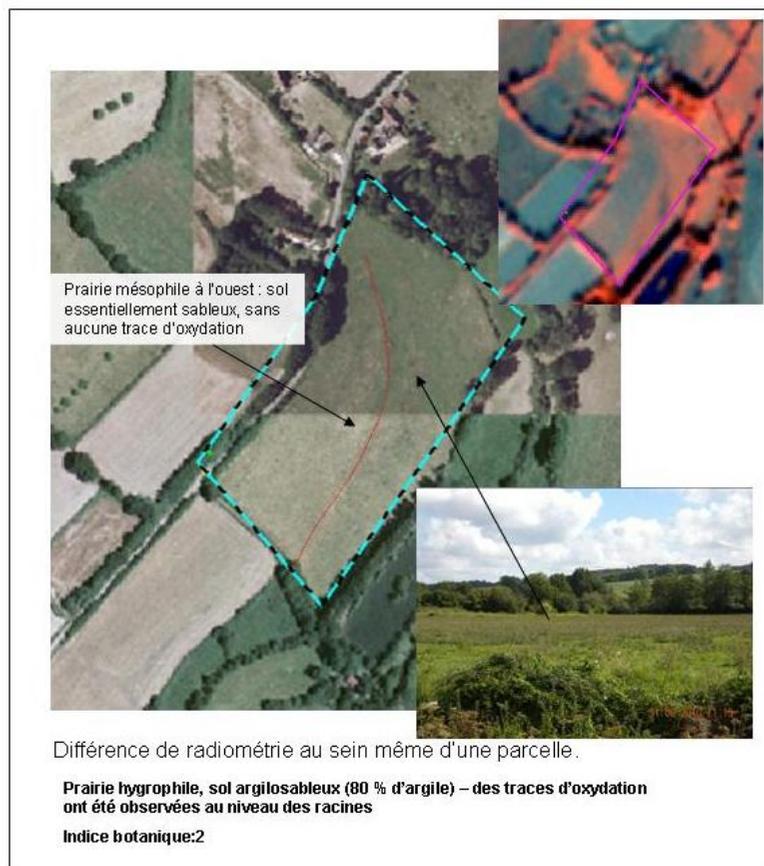
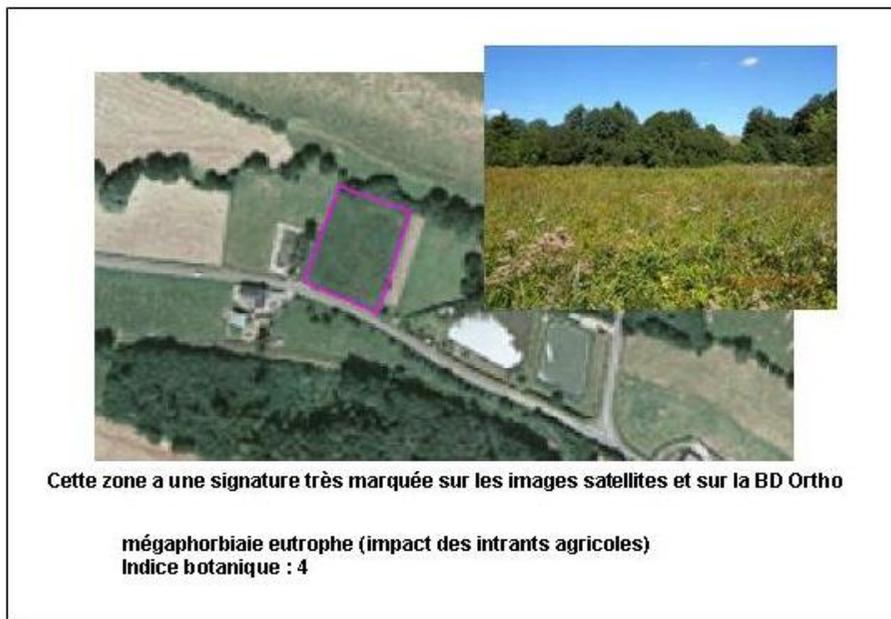
Néanmoins, nous remarquons que la proximité d'un cours d'eau renforce le fait que ce soit une zone humide.

3 - Radiométrie spécifique des zones humides à vérifier

Sur les traitements des images satellites AVNIR et RAPIDEYE, certaines réponses radiométriques semblent correspondre à des zones humides.

Il est donc utile d'avoir une corrélation entre la vérité terrain et ces radiométries spécifiques.





Les réponses radiométriques observées sur les traitements des images satellites sont dans la grande majorité des cas étudiées à partir des réponses de terrains humides. Cette méthode est donc efficace pour la discrimination des zones humides par télédétection.

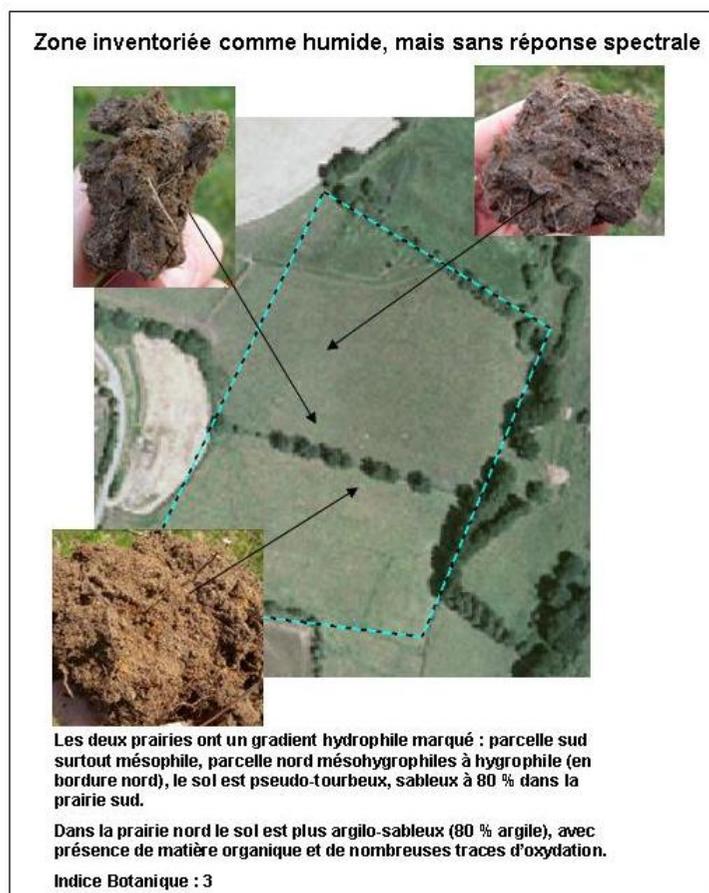
Il est cependant nécessaire de croiser l'ensemble des données terrain avec les différents traitements des images utilisés, et de bien choisir les meilleurs traitements à utiliser.

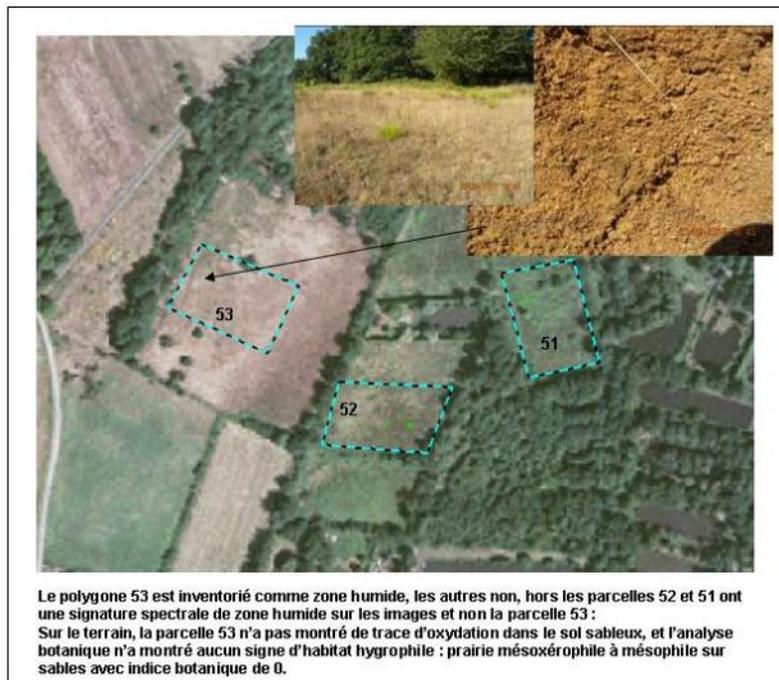
4 - Zones inventoriées en Zones Humides n'ayant aucun indicateur d'humidité

Les données en présence nous fournissant la localisation des zones inventoriées comme humides ont été étudiées et comparées aux premiers résultats de photo-interprétation.

Certaines zones, dites humides, sont en corrélation avec nos observations, cependant, d'autres zones ne présentent aucun indice d'humidité sur les images satellites ni sur la BD Ortho.

Nous avons sélectionné quelques -unes de ces parcelles afin de vérifier si oui ou non, ces zones sont humides.





Les zones définies comme humides ne présentant aucune réponse spécifique sur les images semblent ne pas toujours correspondre à des terrains humides.

Il est donc nécessaire d'utiliser ces données avec précaution et de donner la priorité aux indicateurs radiométriques.

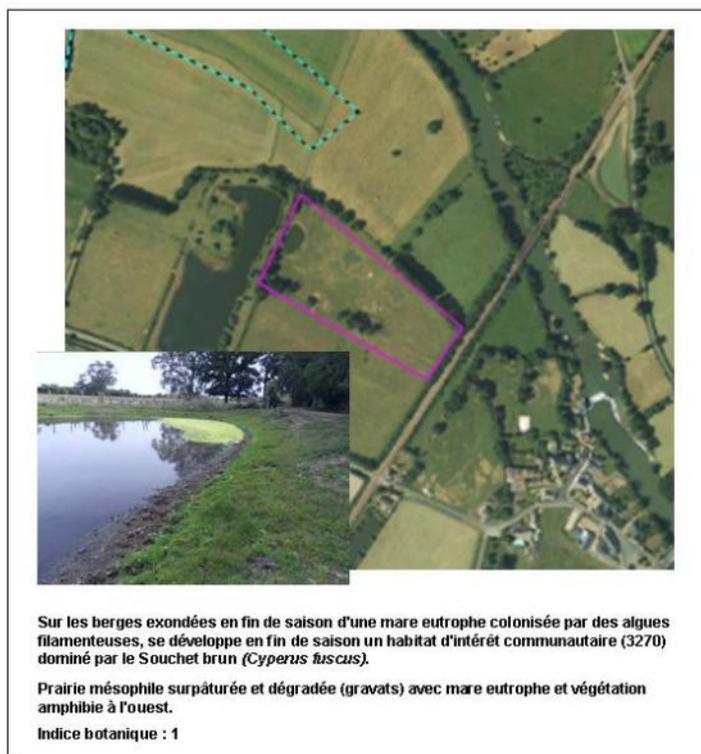
5 - Influence des mares/plan d'eau sur le sol avoisinant

De nombreux plans d'eau sont répertoriés sur les données en présence et sont aussi bien remarquable sur les images satellite s ainsi que sur la BD Ortho.

La question qui se pose est donc l'influence de ces plans d'eau sur le sol avoisinant.

Pour avoir un élément de réponse, une analyse botanique et pédologie devra donc être réalisée sur le terrain.





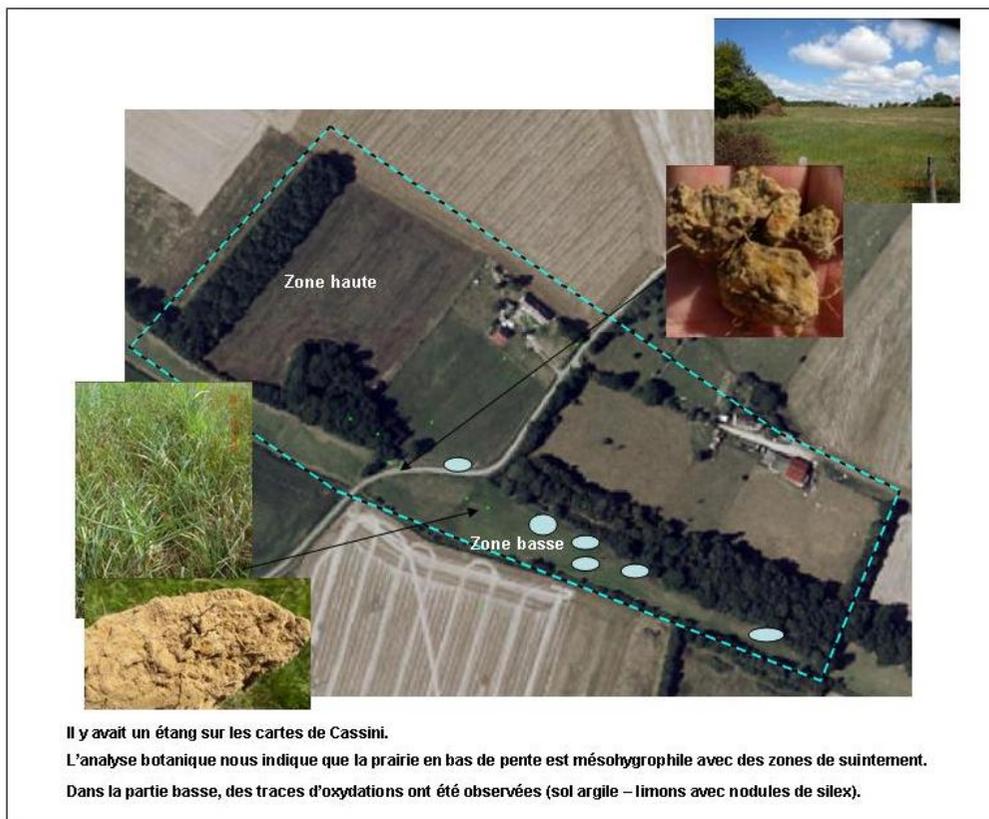
L'influence des plans d'eau, tout comme celle des traces au sol, semble considérablement diminuer dans les 100 premiers mètres.

6 - Influence des étangs présents sur les cartes de Cassini

Les cartes de Cassini représentent l'ensemble de la France du 18ème siècle de manière unique et homogène.

L'intérêt de ces cartes est d'avoir une visualisation relative des zones humides, des cours d'eau et des plans d'eau de l'époque qui n'existent plus à l'heure actuelle.

Certaines zones où se trouvaient des étangs sur les cartes de Cassini ont donc été investiguées sur le terrain pour évaluer l'influence de ces plans d'eau disparus, mais aussi pour évaluer la précision des cartes de Cassini pour notre échelle d'interprétation.



Les étangs et plans d'eau présents sur les cartes de Cassini sont d'une importance notable pour la localisation des zones humides.

En effet, même si le terrain nous a indiqué à plusieurs reprises que ces plans d'eau avaient des localisations approximatives (rayon de 200m), leur recalage est aisé (dépression, cours d'eau, etc.).

ANNEXE 2 : Préparation et structuration des couches vectorielles

Dans le contexte de l'étude, l'utilisation de multiples données dans le but de les fusionner et/ou de les recouper nécessite une topologie parfaite de ces couches vectorielles.

La topologie définit l'expression des relations entre les objets. Les SIG qui gèrent la topologie identifient tous les objets les uns par rapports aux autres et le sens de la saisie est par exemple enregistré. Lorsque l'information vectorielle est constituée de polygones, on parle de topologie polygonale.

Le vecteur en mode polygonal intègre la notion de nœud et des relations topologiques entre les lignes, les nœuds, et les polygones. Il y a donc orientation des lignes et notion de polygone à droite, et polygone à gauche d'une ligne. Ce mode est le plus complexe des modes topologiques, mais aussi celui qui permet le plus de possibilités d'analyse.

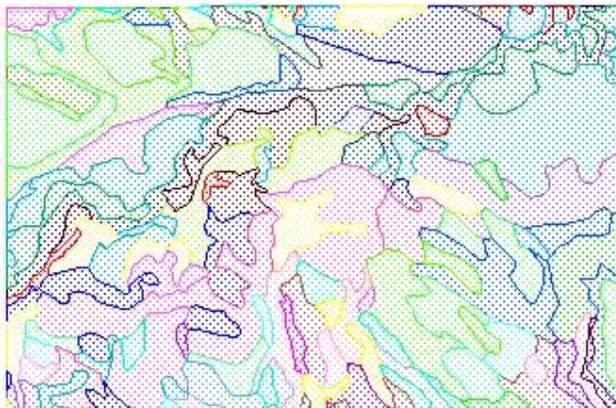


fig. 118) *Illustration d'exemple d'une topologie de type polygonal*

En mode polygonal, la vérification des règles suivantes permet de valider la topologie de la couche vectorielle :

- Absence de nœuds inutiles
- Intersection automatique des lignes
- Relations polygones / lignes / nœuds
- Attributs possibles sur polygones / lignes / nœuds / points
- Notion d'orientation des lignes
- Absence de codes non conformes

Le procédé de combinaison vectorielle se traduit par le transfert d'une information géographique (intégralement ou partiellement) dans une seconde couche vectorielle contenant déjà une information cartographique. Le but d'une telle opération est de mixer les deux informations soit pour produire une nouvelle information, soit parce que les deux informations initiales sont complémentaires.

Les analyses par combinaisons vectorielles sont complexes du fait d'une précision des limites et d'échelles différentes entre les entités de chaque couche. Il est important que ces couches soient propres et c'est pourquoi chacune d'entre elles est vérifiée, validée et corrigée si nécessaire

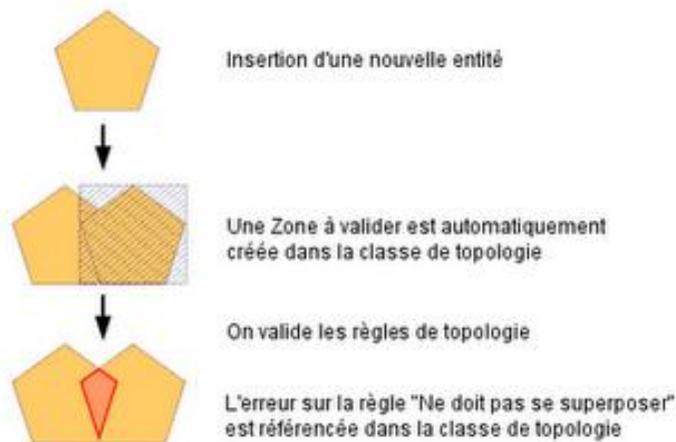


fig. 119) Schéma de correction topologique vectorielle

La validation géométrique des couches vectorielles est nécessaire pour réaliser des calculs comparatifs.

Structuration de la couche finale par rapport aux informations des couches originales.

Après la validation et les corrections topologiques, sur chaque couche vectorielle d'inventaire, les entités surfaciques sont reliées à une table unique qui contient un enregistrement (ligne) par polygone. Cette table contient les informations typologiques et de métadonnées.

Le vecteur en mode polygonal intègre la notion de nœud et des relations topologiques entre les lignes, les nœuds, et les polygones. Il y a donc orientation des lignes et notion de polygone à droite, et polygone à gauche d'une ligne. Ce mode est le plus complexe des modes topologiques, mais aussi celui qui permet le plus de possibilités d'analyse. Nous avons donc structuré toutes les couches de données sur le logiciel TNT Mips qui est un SIG topologique natif afin d'établir les relations entre objets et de traiter les micropolygones. Les tables d'attributs ont été converties en mode relationnel « un pour un » afin d'éviter les polygones orphelins ou d'avoir plusieurs éléments attributaires reliés à un même polygone.

MODE RELATIONNEL "UN POUR UN" :

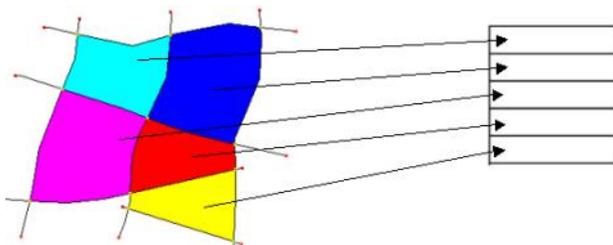
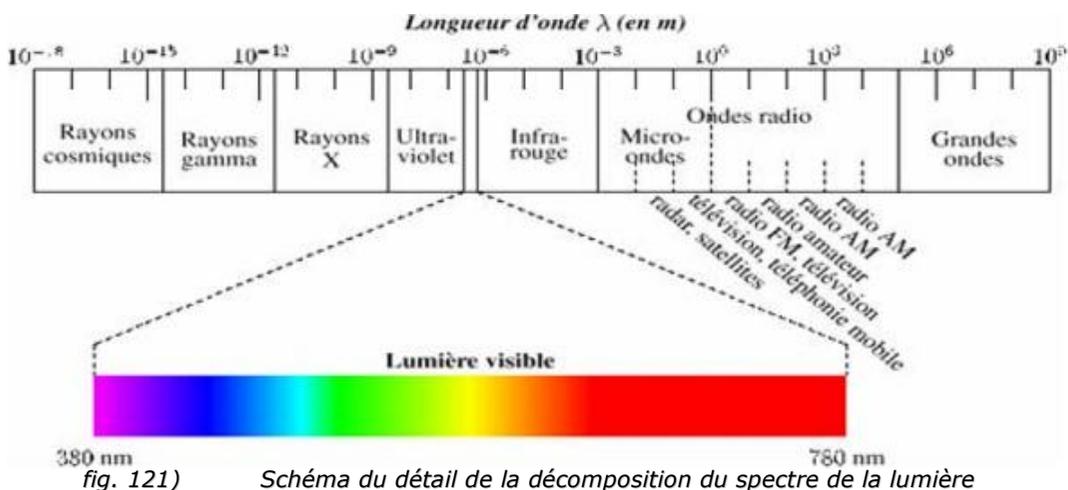


fig. 120) Schéma de la relation entre la table attributaire et les polygones de la couche vectorielle

- ❖ ·Il ne peut y avoir un nombre différent de polygones et d'enregistrements attributaires.
- ❖ ·Il ne peut pas exister de polygones sans enregistrements attributaires attachés. Il ne peut pas exister d'enregistrements attributaires sans polygones attachés.
- ❖ ·Un polygone ne peut être attaché qu'à un seul enregistrement attributaire. Un enregistrement attributaire ne peut être attaché qu'à un seul polygone.

Il est important dès ce stade d'avoir une idée précise de la structure de la base de données finale afin de savoir quels éléments attributaires conserver ou transformer pour ensuite avoir le minimum de problème durant la fusion de toutes les informations.

ANNEXE 3 : Analyse du spectre de la lumière



Le soleil émet des rayonnements de différentes longueurs d'onde vers la Terre, qui mettent environ 8 minutes à l'atteindre. Le spectre visible de la lumière est généralement défini par le domaine de longueur d'onde suivant : de la plus petite longueur d'onde visible pour le violet, environ 400 nm, à 750 nm pour le rouge. Les longueurs d'onde inférieures à 400 nm correspondent au rayonnement ultraviolet ; les longueurs d'onde encore plus basses caractérisent les rayons X. Les longueurs d'onde supérieures à 750 nm correspondent aux radiations infrarouges et celles encore plus élevées caractérisent les ondes radio.

Le radiomètre est l'instrument principal dont les satellites météorologiques sont équipés. Cet instrument balaye la surface de la Terre ligne par ligne. Chaque ligne consiste en une série d'images élémentaires ou pixel. Pour chaque pixel, le radiomètre mesure l'énergie radiative dans différentes bandes spectrales. Cette mesure est numérisée, puis transmise à une station au sol où elle est traitée, avant d'être envoyée à la communauté des utilisateurs.

Le rayonnement correspond à un transfert d'énergie par des oscillations rapides de champs électromagnétiques. Ces ondes sont composées de photons et dans le vide, toutes les ondes électromagnétiques ont la même célérité $c = 3.108 \text{ m/s}$. Ce qui va caractériser ces rayonnements, c'est leur longueur d'onde. La longueur d'onde (mètre) est la distance parcourue par le front de l'onde se déplaçant à la célérité c (m/s), en une période T (s).

La figure ci-dessous décrit le spectre électromagnétique et les différentes longueurs d'onde associées à ce spectre.

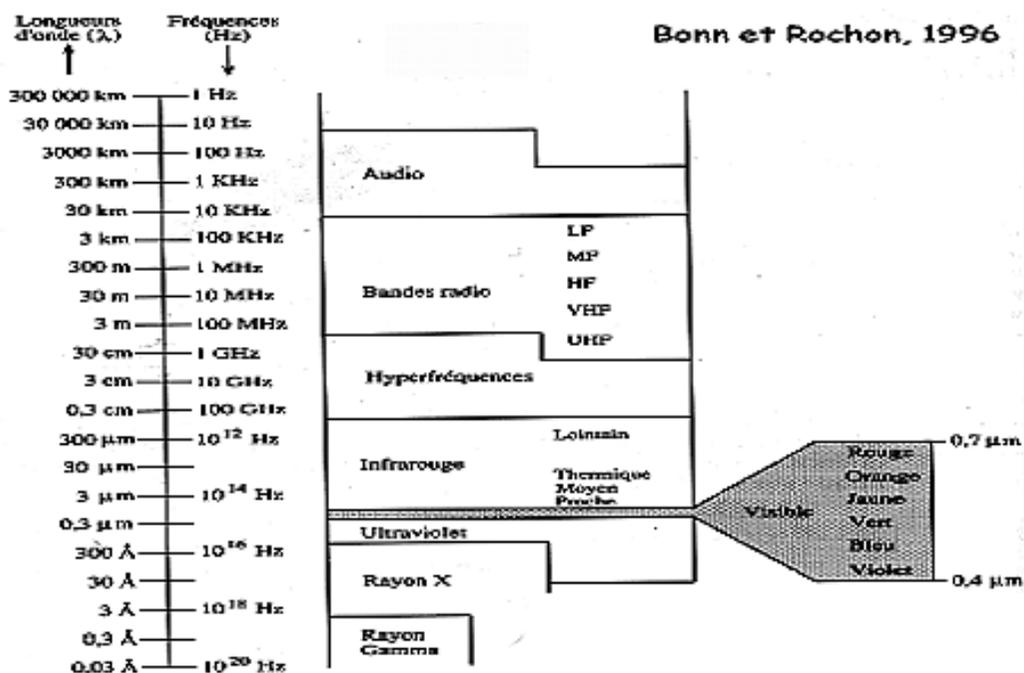


fig. 122) Schéma des différentes longueurs d'ondes du spectre électromagnétique

- Le rayonnement visible est celui qui intéresse l'œil humain. Il couvre une bande spectrale qui va de 0,4 à 0,72 μm.
- Le rayonnement infrarouge se situe de 0,7 à 1000 μm. On peut le décomposer de la manière suivante :
 - le proche infrarouge qui va de 0,7 à 1 μm est constitué par la radiation solaire réfléchie
 - le moyen infrarouge de 1 à 3,5 μm
 - l'infrarouge thermique de 3,5 à 14 μm

l'infrarouge lointain au-delà de 14 μm est constitué par le rayonnement émis par la surface de la Terre et n'est pas utilisé par la télédétection.

ANNEXE 4 : Description des facteurs de caractérisation ou perturbateurs de la réponse radiométrique

Les facteurs modifiant les propriétés optiques des feuilles

- La structure anatomique des feuilles : la réflectance des feuilles dépend de la structure interne de la feuille (assises cellulaires, dimension des cellules et épaisseur du parenchyme lacuneux). Ceci est surtout vérifié dans le proche infrarouge. Les feuilles de certaines espèces sub-xériques aux feuilles épaisses ont généralement une réflectance élevée dans le proche infrarouge (75 %).

- L'âge des feuilles : on distingue trois périodes durant lesquelles les propriétés optiques des feuilles sont différentes ; le stade juvénile, la sénescence et la fin du cycle phénologique

- la teneur en eau des feuilles influe directement sur la réflectance notamment dans le moyen infrarouge, mais aussi dans le visible et le proche infrarouge.

Les surfaces en eau

Dans les courtes longueurs d'onde, le rayonnement solaire est réfléchi de façon importante. Seule une partie du rayonnement est absorbée par l'eau, mais il faut noter que plus l'eau est profonde et plus le rayonnement est absorbé. Ainsi le rayonnement réfléchi est presque nul dans une eau profonde ce qui se traduit par une surface noire.

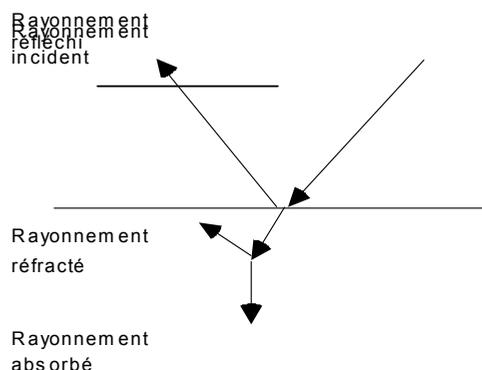


fig. 123) Schéma de la répartition du rayonnement au contact du sol

Toutefois, une surface en eau ne veut pas dire une surface plane, en effet le vent crée des mouvements de surface qui modifient la réflectance. Les angles entre les surfaces créées et les ondes sont multiples et ces mouvements se traduisent par des rayonnements plus ou moins réfléchis qui peuvent se traduire à l'inverse par une surface presque blanche sur l'image. On voit donc que pour un même milieu, la simple influence d'un facteur physique peut jouer et cela est valable pour toutes les ondes. Les substances dissoutes ou en suspension conditionnent aussi les réflectances des surfaces en eau.

Les sols

Les sols résultant de l'altération des roches par la biosphère, la réflectance des sols est donc dépendante des caractéristiques spectrales des différents minéraux qui les composent. Les sols ont une réflectance qui augmente lorsque la longueur d'onde augmente.

L'humidité des sols affecte la réflectance de ceux-ci dans tout le domaine spectral. La réflectance d'un sol dans le visible et le proche infrarouge est fonction de son humidité. Ce n'est pas seulement l'absorption de l'eau qui joue un rôle prépondérant, mais les interfaces air-eau autour des particules du sol qui deviennent prépondérantes. La réflectance est d'autant plus faible que le sol est humide.

La variabilité spatiale et temporelle de l'humidité des sols nus permet de caractériser les zones. Les données images disponibles dans le domaine du visible et l'infrarouge apportent des éléments d'analyse qualitative des variations d'humidité. Néanmoins, la relation entre la réflectance et le degré d'humidité des sols n'est pas exclusive. La présence de matière organique, la texture des sols peuvent engendrer des confusions dans l'interprétation si l'on ne se trouve pas dans des unités morpho-pédologiques semblables.

La teneur en matière organique influence fortement la réflectance lorsqu'elle est supérieure à 2 % du visible au proche infrarouge.

Exemple de courbes de réflectances d'un sol et d'un type de végétation et de leur réponse dans les différents capteurs de quelques satellites (d'après G Guyot, 1989)

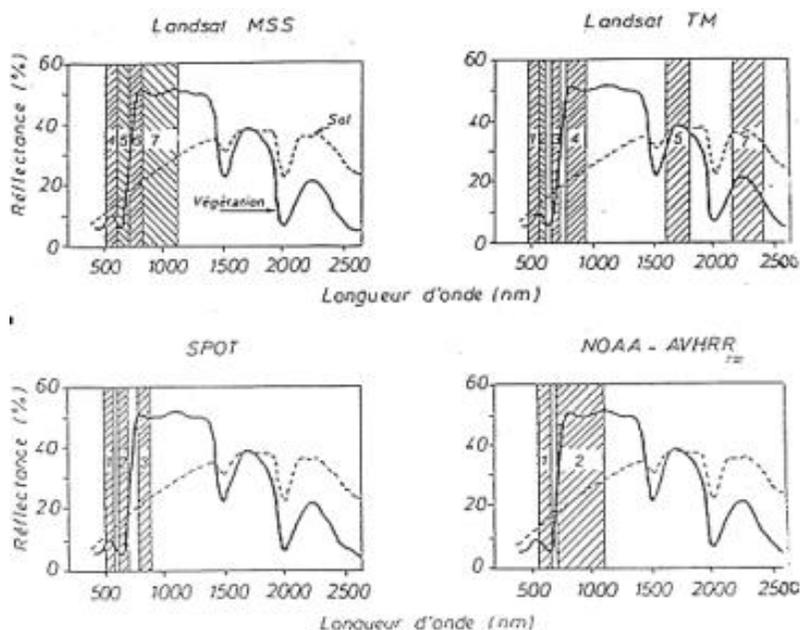


fig. 124) Illustration des courbes montrant qu'un sol ou un même type de végétation répondent différemment selon la longueur d'onde choisie.

ANNEXE 5 : Répartition par département des résultats de photo-interprétation

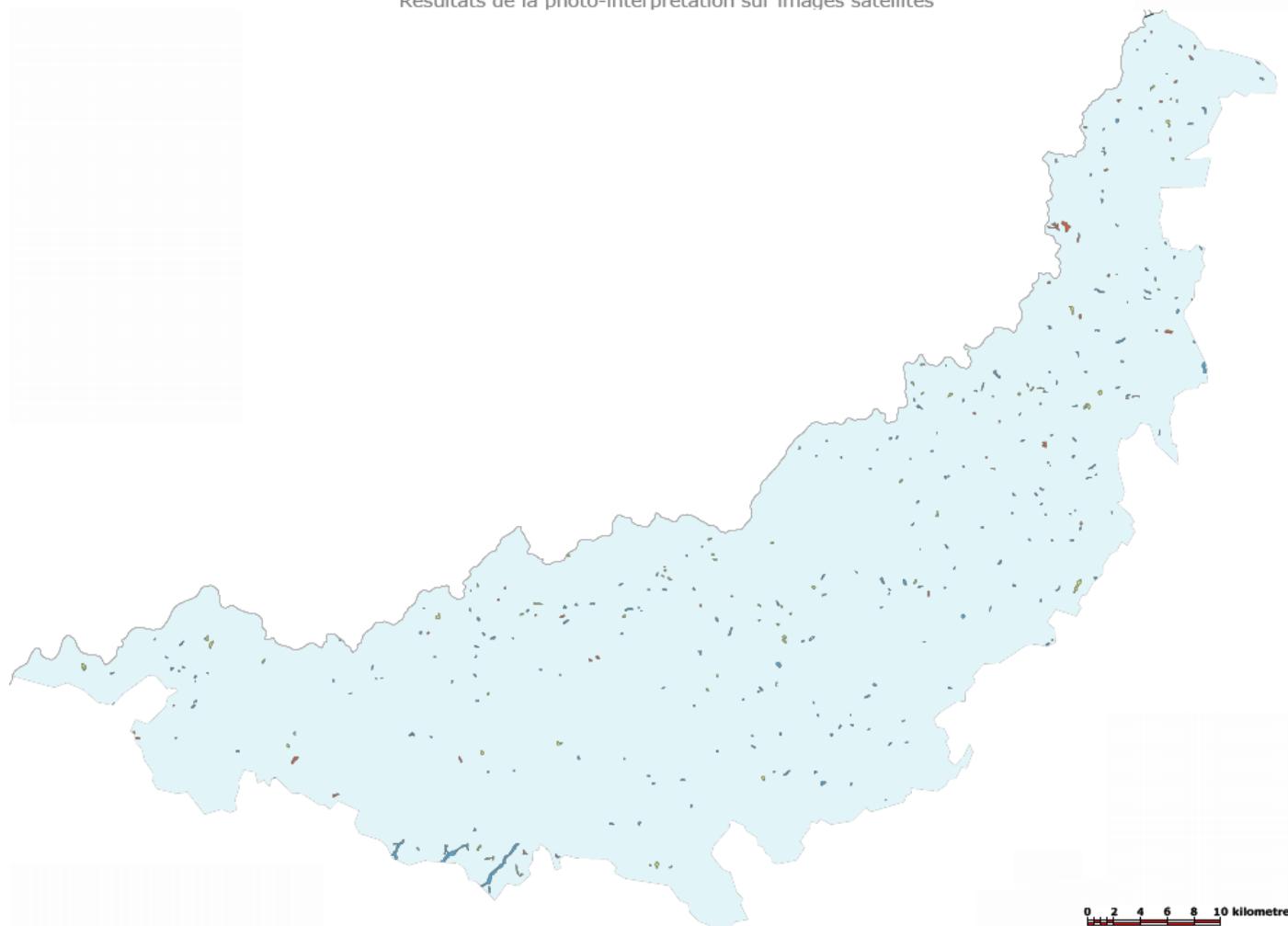
Légende:

	Boisement organisé - IC=1
	Boisement organisé - IC=2
	Boisement organisé - IC=3
	Zone humide de bord de plan d'eau - IC=1
	Zone humide de bord de plan d'eau - IC=2
	Zone humide de bord de plan d'eau - IC=3
	Zone humide de bord de plan d'eau - IC=4
	Zone humide de bord de cours d'eau - IC=1
	Zone humide de bord de cours d'eau - IC=2
	Zone humide de bord de cours d'eau - IC=3
	Zone humide de bord de cours d'eau - IC=4
	Champ humide - IC=1
	Champ humide - IC=2
	Champ humide - IC=3
	Champ humide - IC=4
	Peupleraie - IC=1
	Peupleraie - IC=2
	Zone humide ponctuelle - IC=1
	Zone humide ponctuelle - IC=2
	Zone humide ponctuelle - IC=3
	Ripisylve-IC=1
	Ripisylve-IC=2
	Ripisylve-IC=3
	reservoir_1, zone_humide_artificialisee_1
	zone_humide_artificialisee_2
	Plan d'eau
	Plan d'eau

(IC= Indice de Confiance)

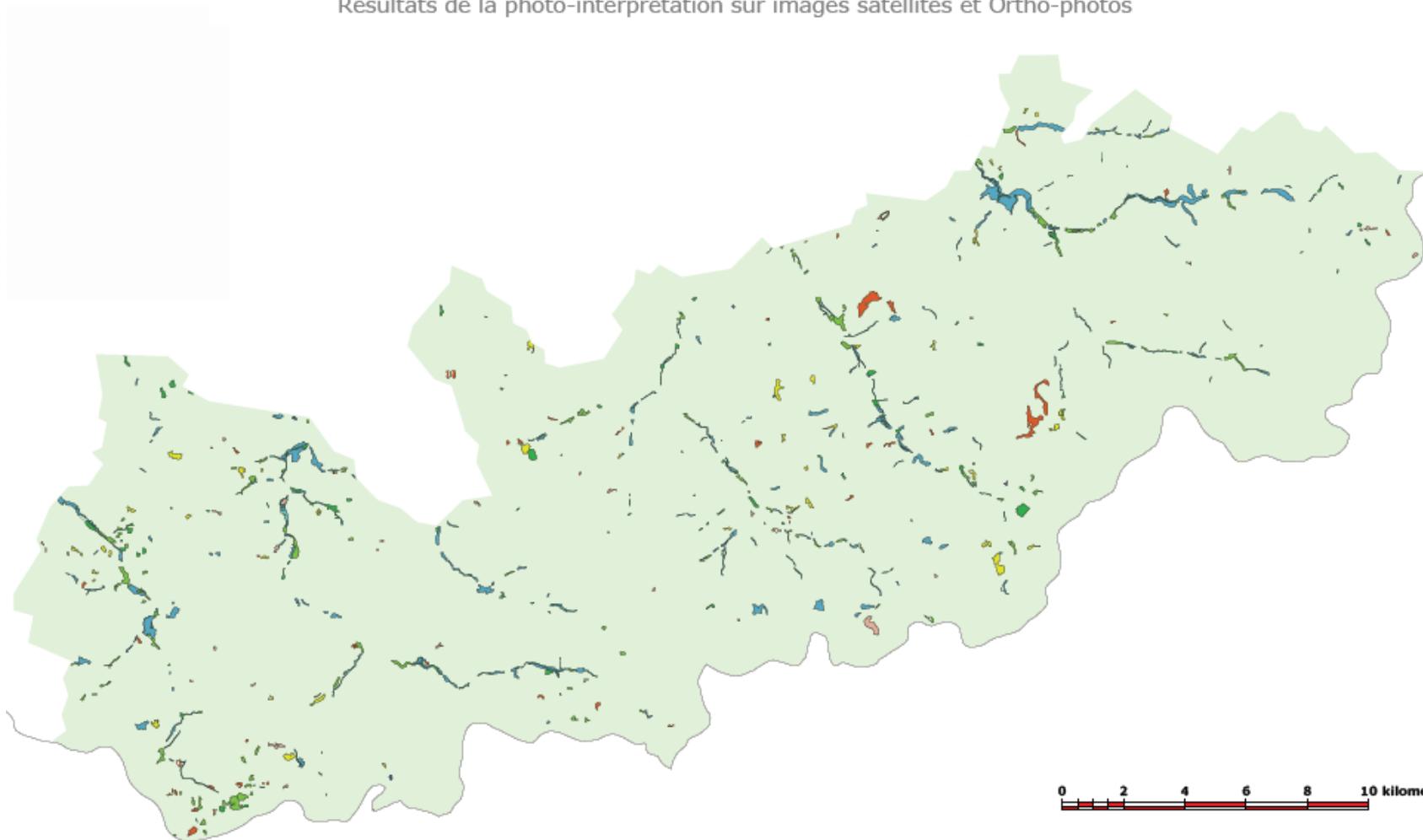
Prélocalisation des zones humides - Département de la Sarthe (Bassin du Loir)

Résultats de la photo-interprétation sur images satellites



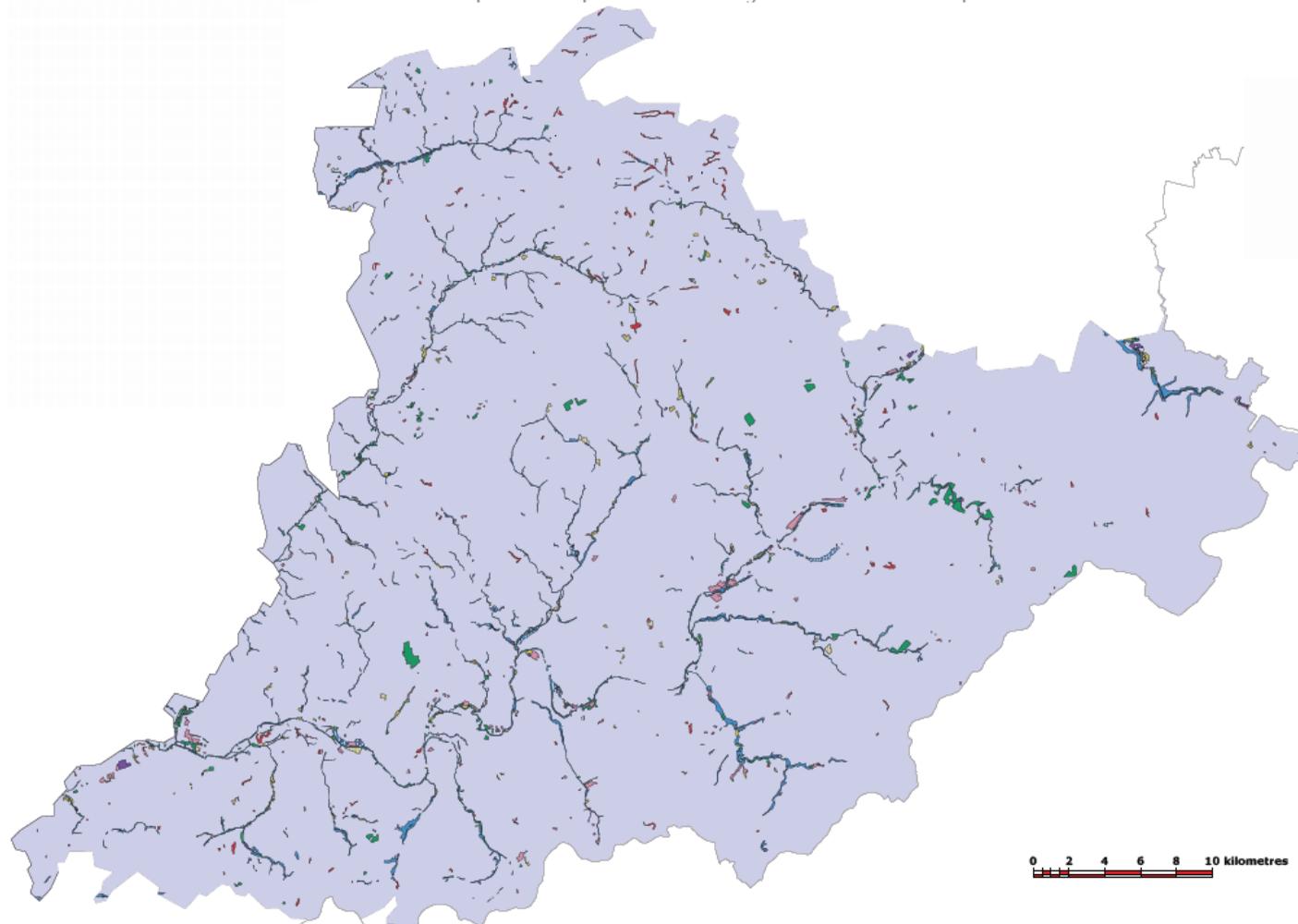
Prélocalisation des zones humides - Département de l'Indre-et-Loire (Bassin du Loir)

Résultats de la photo-interprétation sur images satellites et Ortho-photos



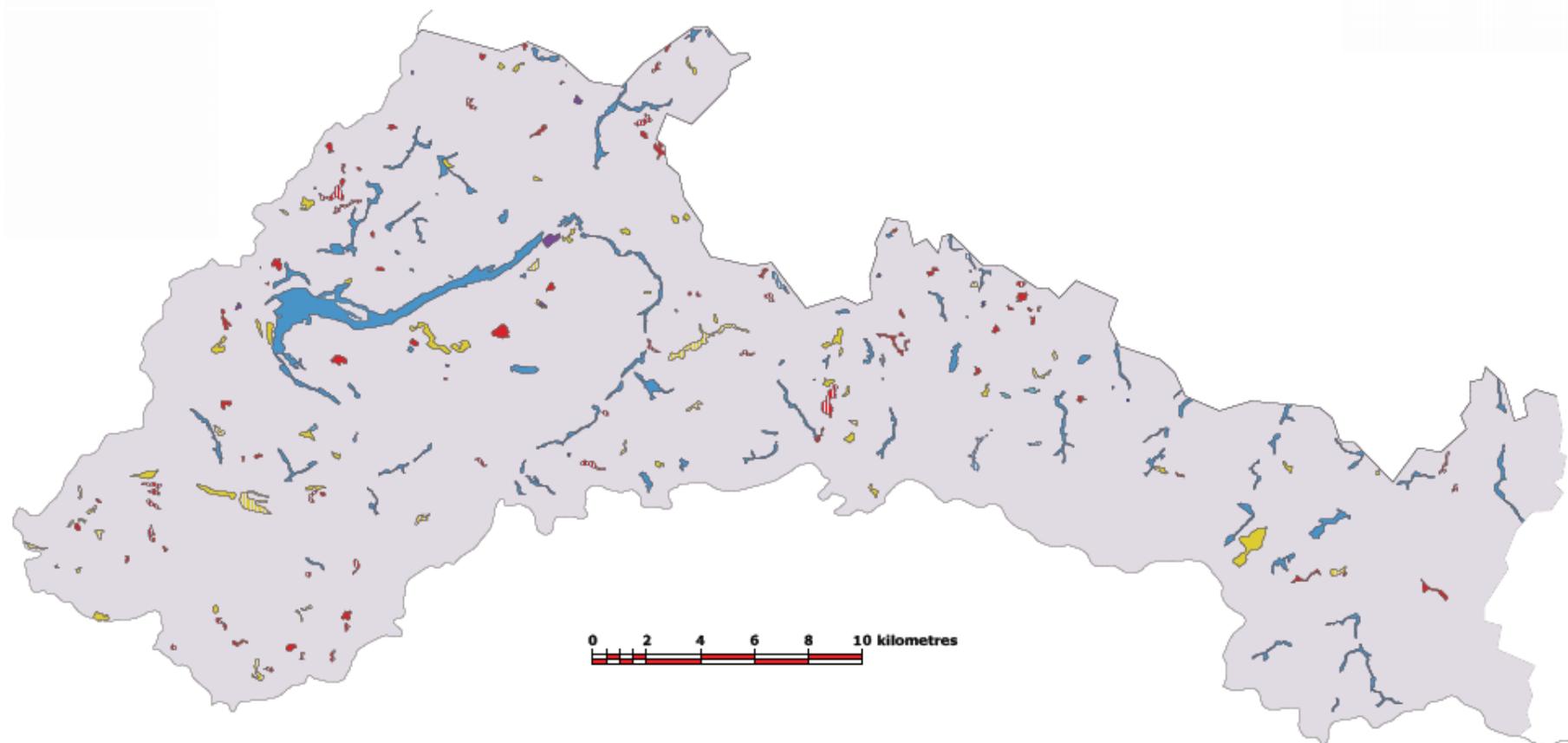
Prélocalisation des zones humides - Département du Loir-et-Cher (Bassin du Loir)

Résultats de la photo-interprétation sur images satellites et Ortho-photos



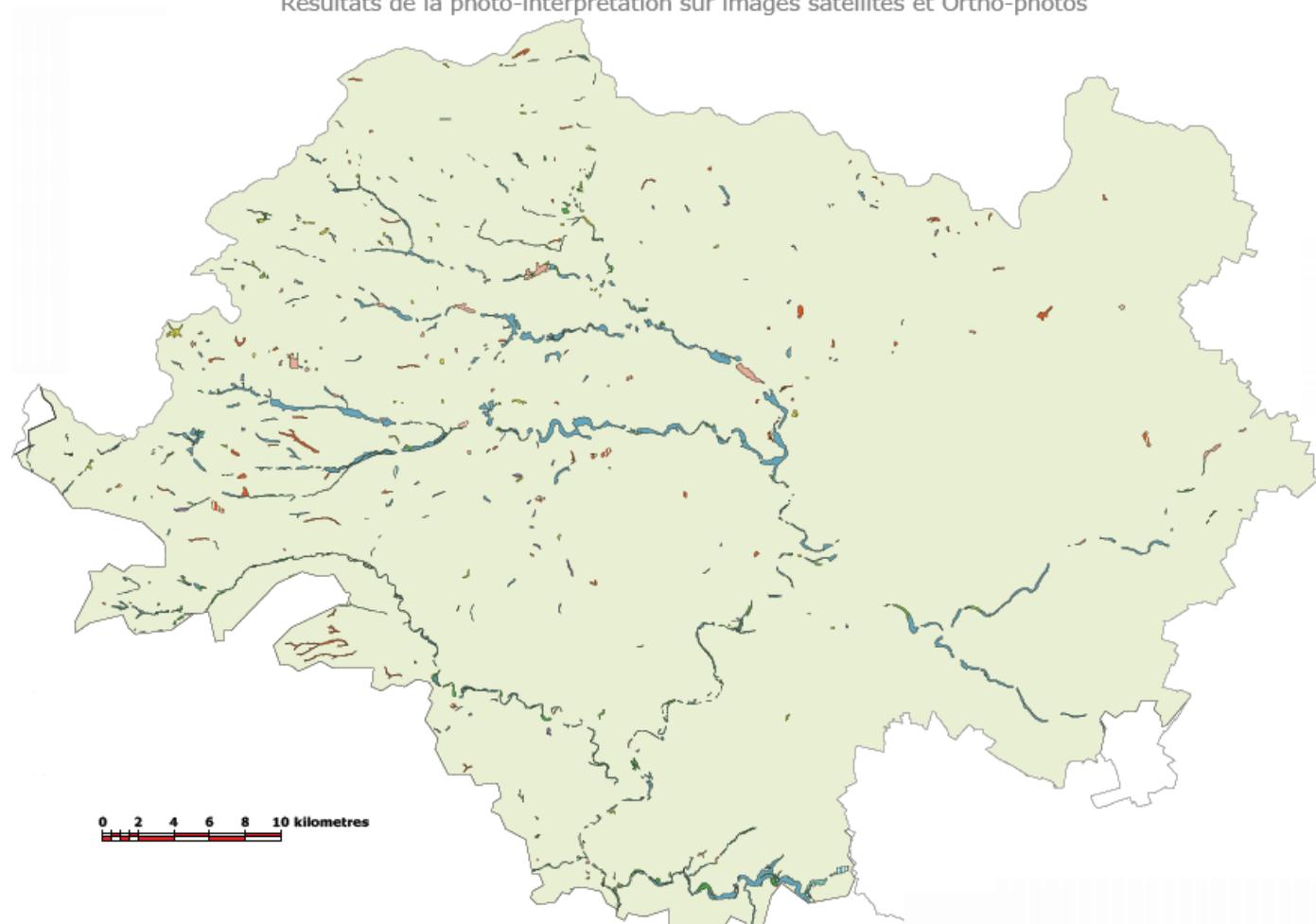
Prélocalisation des zones humides - Département du Maine-et-Loire (Bassin du Loir)

Résultats de la photo-interprétation sur images satellites



Prélocalisation des zones humides - Département de l'Eure-et-Loir (Bassin du Loir)

Résultats de la photo-interprétation sur images satellites et Ortho-photos



ANNEXE 6 : Détail de l'analyse phytosociologique

Zone	Polygone	% Habitats hygrophiles et mésio-hygrophiles	Commentaires	Espèces indicatrices	Code Corine biotope principaux	Activités humaines
1	11	1	zones de suintements avec prairie mésiohygrophile en bas de pente	Silaum silaus; Achillea ptarmica	38.2; 41.2	Fauche; pâturage
2	18	2	effet net du drainage : les formations hygrophiles et mésiohygrophiles ne subsiste que dans le tiers sud-ouest et dans les fossés	Silaum silaus; Achillea ptarmica	38.2; 37.2	Pâturage
2	20	3	gradient hydrophile marqué : parcelle sud surtout mésophile, parcelle nord mésiohygrophiles à hygrophile (en bordure nord)		37.2	Pâturage
2	22	2	zone de prairie mésiohygrophile surpâturée; effet net du rabattement à proximité du cours d'eau		38.1; 37.2	Pâturage
2	25	2	zone centrale hygrophile avec des sources tuffeuses		44.3; 89.23	Sylviculture, activités récréatives
3	37	4	mégaphorbiaie eutrophe (impact des intrants agricoles)		37.1	Néant
3	38	3	prairie humide sur zone suintante ("sourceuse"); zone mésophile en raison du drainage à l'est		44.1; 37.2	Pâturage
5	45	1	culture avec friche mésiohygrophile		82.1	Agriculture

5	47	1	prairie et bois mésophile avec juste une zone humide au contact des deux		44.1; 38.1	Pâturage
5	51	2	prairie mésophile avec engorgement permanent (prairie paratourbeuse) à l'est et au sud		38.1; 37.2	Pâturage
5	52	1	prairie mésophile avec engorgement permanent (prairie paratourbeuse) à l'est		38.1; 37.2	Pâturage
5	53	0	prairie mésoxérophile à mésophile sur sables	Jasione perennis	35.1	Pâturage
5	54	1	cultures et friches avec mégaphorbiaie à l'ouest		82.1; 44.1 ; 37.1	Agriculture
6	58	0	prairie mésoxérophile sur sables	Erodium cicutarium; Eryngium campestre	35.1	Pâturage
6	57	1	prairie mésophile surpâturée et dégradée (gravats) avec mare eutrophe et végétation amphibie à l'ouest	Cyperus fuscus	81.1 ; 22.31	Pâturage
6	59	3	prairie majoritairement mésohygrophile surpâturée	Mentha aquatica; Pulicaria dysenterica (espèces résistantes au pâturage équin)	81.2	Pâturage
6	61	1	zone humide perturbée par les aménagements récréatifs au nord-ouest		38.1 ; 85	Activités récréatives ; Pâturage
6	62	1	zone remaniée par la voie ferrée ; essentiellement mésophile		41.2 ; 84.43 ; 37.2	Transport ; Pâturage

7	65	0	prairies, friches et plantations mésophiles à mésoxérophiles		38.1 ; 87 ; 83.32	Pâturage ; Sylviculture
7	67	0	uniquement mésophile pour la partie centrale		38.1	Pâturage
7	84	0	chênaie sessiliflore sèche. Peut-être engorgement hival fort (fossés) ???		41.5	Sylviculture
7	85	4	mare sur sables acides oligotrophes	<i>Osmunda regalis</i>	22.11	Néant
8	70	1	prairie abandonnée en cours de boisement; étang au sud	<i>Colchicum automanle</i> (à l'extérieur)	85 ; 41.1 ; 22.14	?
8	74	1	prairie qui a été abandonnée et récemment réouverte ; plus humide en partie centrale		81.2	?
9	76	4	Frênaie oxyphylle alluviale (variante très originale d'un habitat d'intérêt communautaire)		44.4	?
9	77	3	pelouse sur sable xérique (habitat d'intérêt communautaire non hygrophile mais lié à la dynamique fluviale) et ancienne carrière en cours de boisement spontané)	<i>Armeria arenaria</i> ; <i>Sedum rupestre</i>	34.12 ; 44.1	Néant
9	79	4	prairie de fauche mésohygrophile plus ou moins eutrophisée	<i>Gratiola officinalis</i> (PN)	37.2	Fauche
9	83	4	prairie de fauche mésohygrophile plus ou moins eutrophisée (ce qui perturbe la lecture) mais marque nette d'une trace hygrophile centrale (ancien bras ???)		37.2	Fauche
10	1	1	culture et bois mésophile sur sables avec fossé et friche nitrophile entre les deux		41.2 ; 82.1	Agriculture

10	3	1	parcelle très remaniée par les terrassements de l'autoroute; chênaie sessiliflore sur sables avec petite zone humide liée à un écoulement		41.5	?
10	4	1	prairie mésophile avec petite zone de suintement		81.1	Pâturage
10	7	1	prairie sèche, culture avec petite zone mésohygrophile en limite est		38.1; 82.1	Agriculture ; Pâturage
11	8	0	prairie mésophile à mésoxérophile sur sables secs	Filago vulgaris	81.1 ; 35.1	Pâturage
11	9	3	prairie mésohygrophile dominante	Althaea officinalis	37.2	Fauche