

sage Cher aval

Structure porteuse



Partenaires financiers



Étude de prélocalisation des zones humides du périmètre du SAGE Cher aval

PHASE 1 : Prélocalisation des enveloppes de probabilité de présence de zones humides

Bureau d'études

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



SOMMAIRE

I) RESUME 5

II) SYNTHÈSE DES DONNÉES EXISTANTES 6

1) Méthode d'analyse	7
A) Le géoréférencement.....	7
B) Traitement des données.....	7
2) Les données exogènes de délimitation à l'aide de critères de végétation	8
A) L'inventaire Flora	8
B) L'inventaire zones humides sur le département du Cher	9
C) L'inventaire zones humides sur le département d'Indre-et-Loire.....	10
3) Les données exogènes de délimitation à l'aide de critères eau	11
A) Les données de la BD TOPO de l'IGN	11
a) Les plans d'eau.....	12
b) Les cours d'eau	12
B) Les données de la BD Carthage.....	12
C) Les données plans d'eau des DDT	14
4) Les données exogènes définies sur le critère pédologique	14
A) Inventaire des étangs de CASSINI.....	14
B) Données exogènes pédologiques.....	17
a) Sélection des sols	18
5) Les données issues de traitements de données	22
A) L'indice IBK	22
a) Le Modèle numérique de terrain (MNT).....	22
b) Notion d'indice Beven-Kirkby.....	24
c) Exploitation de l'IBK	25
B) Création d'une enveloppe d'alerte autour du réseau hydrographique linéaire et surfacique	27
a) Préparation et mise à jour de la couche hydrographique	27
b) Mise à jour de la BD ORTHO et de la BD Carthage.....	29
c) Transformation du linéaire en polygonal.....	33
d) Secteurs de présence potentielle de zones humides autour du réseau hydrographique linéaire	33

III) TELEDETECTION 35

1) Imagerie BD ORTHO	36
----------------------	----

2) Imagerie satellitale	37
A) Propriétés optiques des végétaux, de l'eau et du sol – Notions de base de télédétection optique-infrarouge	37
B) Les données RAPIDEYE	37
C) Les prétraitements	39
IV) PHOTO-INTERPRETATION	40
1) Échelle de travail	40
2) Typologie de photo-interprétation	41
A) Définition de la nomenclature	41
B) Relation à la nomenclature SDAGE	42
C) Explications de la nomenclature utilisée lors de l'interprétation	44
3) Méthodologie de photo-interprétation	58
A) Méthodologie	58
B) Limites de la photo-interprétation	59
C) Intégration des éléments de Cassini	63
5) Résultats de la photo-interprétation	64
V) ASSEMBLAGE DES COUCHES D'INFORMATIONS.	69
1) Méthodologie générale	70
2) Assemblage des couches "eau" et du "buffer eau" avec l'IBK	72
3) Homogénéisation des couches d'interprétation et des produits calculés	76
A) Regroupement des zones interprétées avec les enveloppes théoriques	76
B) Bilan	79
BIBLIOGRAPHIE	82
ANNEXE 1 : PREPARATION ET STRUCTURATION DES COUCHES VECTORIELLES	85
ANNEXE 2 :	88
CARTE DE SYNTHESE DES PROBABILITES DE PRESENCE DE ZONES HUMIDES	88
CARTE DE DETAIL DES INDICES DE CONFIANCES SUR LES ZONES IDENTIFIEES PAR PHOTO-INTERPRETATION	89

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.

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 L.211-1 du CE). L'arrêté du 24 juin 2008, modifié par l'arrêté du 1er octobre 2009, précise les critères de définition et de délimitation des zones humides. Les circulaires DEVO0813949C du 25 juin 2008 et DEVO1000559C du 18 janvier 2010 exposent les conditions de mise en œuvre des dispositions de ces arrêtés.

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 des masses d'eau 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.

La zone d'étude correspond à la limite du SAGE Cher aval qui couvre une superficie de 2 371 Km² et recoupe quatre départements (Cher, Indre, Indre-et-Loire, Loir-et-Cher).

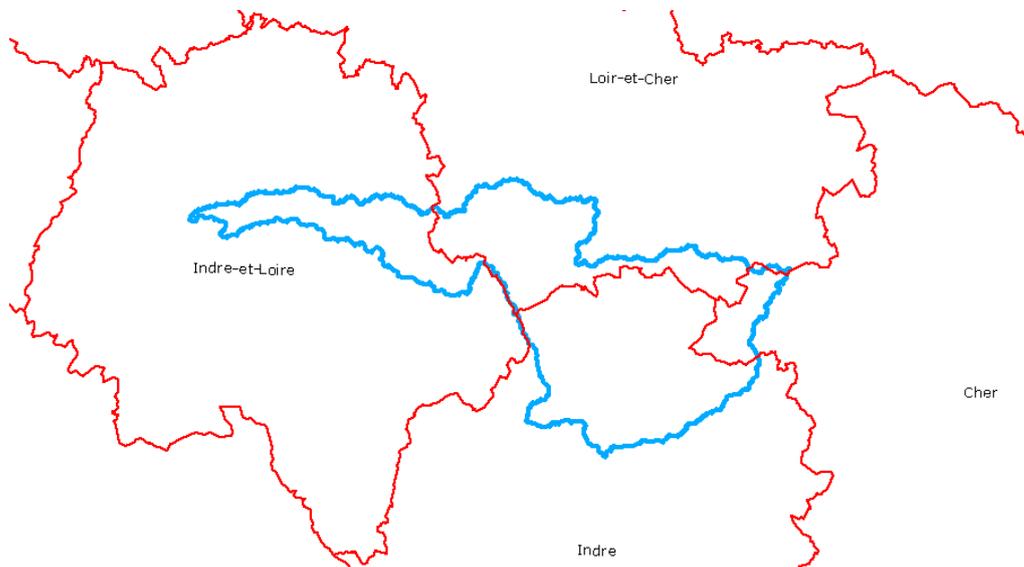
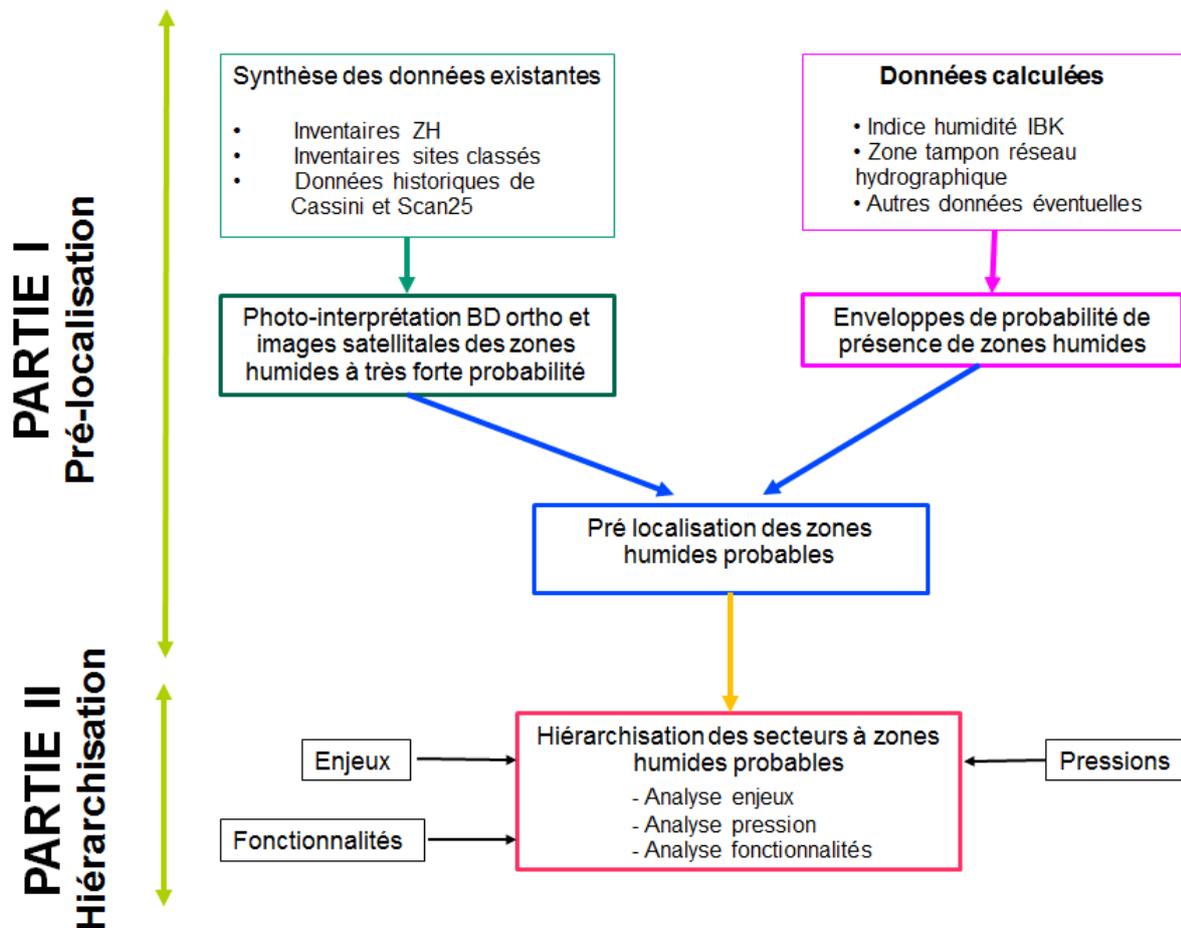


fig. 1) *Illustration de l'emprise de l'étude*

I) Résumé

La présente étude s'inscrit dans une démarche qui vise une prélocalisation des zones humides sur le territoire du SAGE Cher aval 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 (modèle numérique de terrain) 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 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 de zones humides probables, 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 93 — RGF. 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.

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 par exemple les données « IBK² » extraites du MNT (Modèle Numérique de terrain) ou les données relatives au réseau hydrographique.

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

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.

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. Toutefois, 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 confirmée 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) L'inventaire Flora

Cette donnée du CBNBP a été obtenue par inventaires contemporains de terrain dans le cadre d'un programme en vue de la connaissance de la répartition de toutes les espèces sur plusieurs départements. La donnée initialement ponctuelle a été interpolée par le CBNBP pour donner des enveloppes.

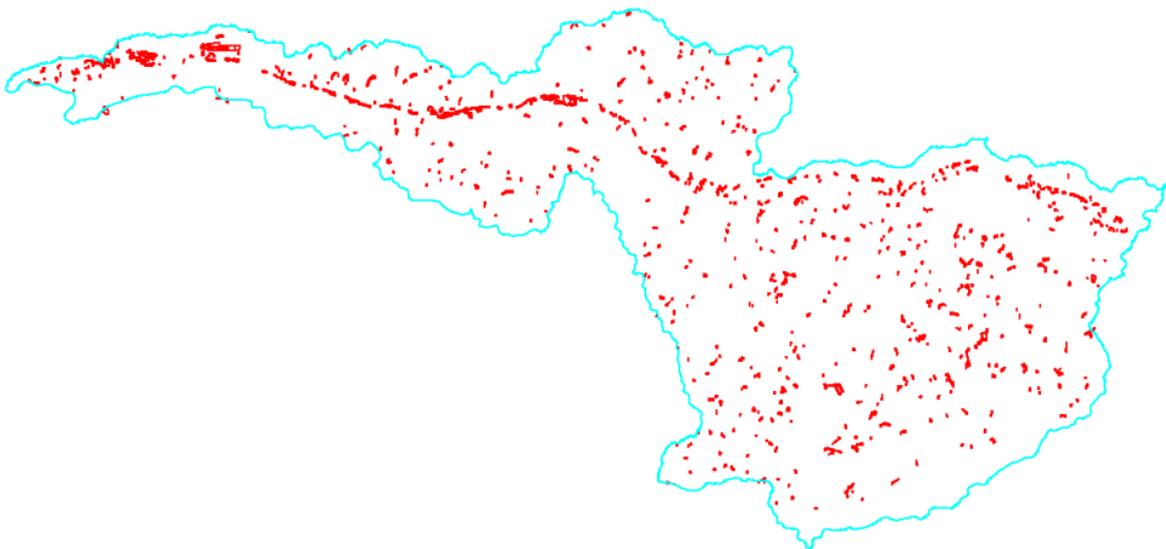


fig. 2) *Illustration de l'emprise des données flore*

S'agissant de polygones interpolés, ils n'ont pas été directement intégrés dans la cartographie finale, mais ont été utilisés en référence par les photo-interprètes. Ainsi, certaines informations jugées non pertinentes n'ont pas été prises en compte et les autres ont guidé les photo-interprètes dans la délimitation des zones humides probables sur la base des images de BD Ortho et satellitales.



fig. 3) Illustration de cas pris en compte par les photo-interprètes et redélimités



fig. 4) Illustration de cas non pris en compte par les photo-interprètes

B) L'inventaire zones humides sur le département du Cher

Cette base de données vectorielle (polygonale) fait l'inventaire par photo-interprétation de certaines zones humides du Cher.



fig. 5) Illustration de l'emprise des données zones humides sur le département du Cher

En fait, cette donnée n'a pas été utilisée, car elle correspond essentiellement aux plans d'eau de grande taille et leurs abords et cela n'apporte pas d'information que les photo-interprètes ne sont pas en mesure de voir directement sur la BD Ortho.



fig. 6) Détail des données de cette base vectorielle

C) L'inventaire zones humides sur le département d'Indre-et-Loire

Cette base de données vectorielle (polygonale) du PNRLAT fait l'inventaire des zones humides de plus d'un hectare d'Indre-et-Loire.

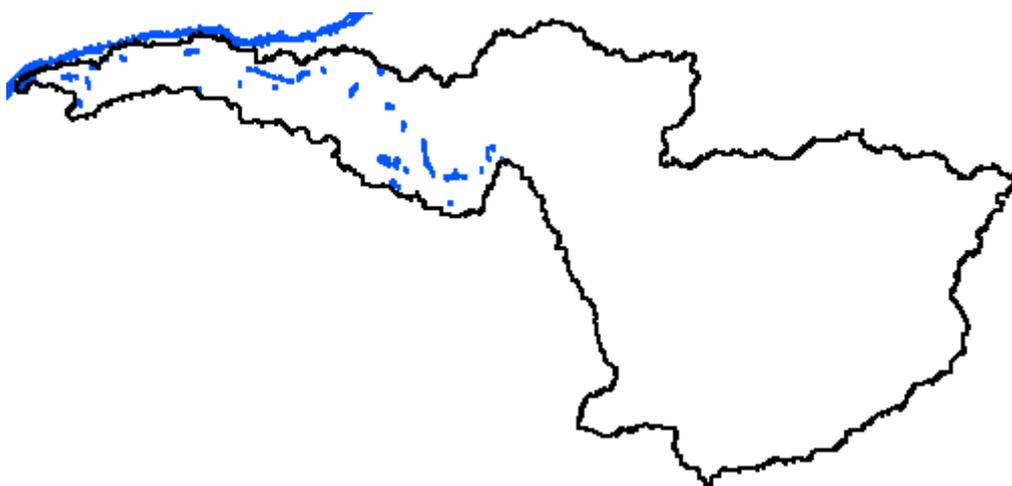


fig. 7) Illustration de l'emprise des données zones humides d'Indre-et-Loire.

Pour chaque zone répertoriée, l'objectif de cette base était d'en faire un inventaire ou une description des principales caractéristiques à une échelle maximale du 1/10 000. Du fait de cette échelle, la donnée n'a pas été directement intégrée, en revanche les photo-interprètes l'ont utilisée pour re-délimiter les zones humides afin d'en affiner le tracé. De plus, les ID de cette base de données ont été renseignés dans le champ attributaire « DIAGNOSTIC » de la prélocalisation.



fig. 8) Illustration de l'emprise de cette donnée sur fond BD Ortho

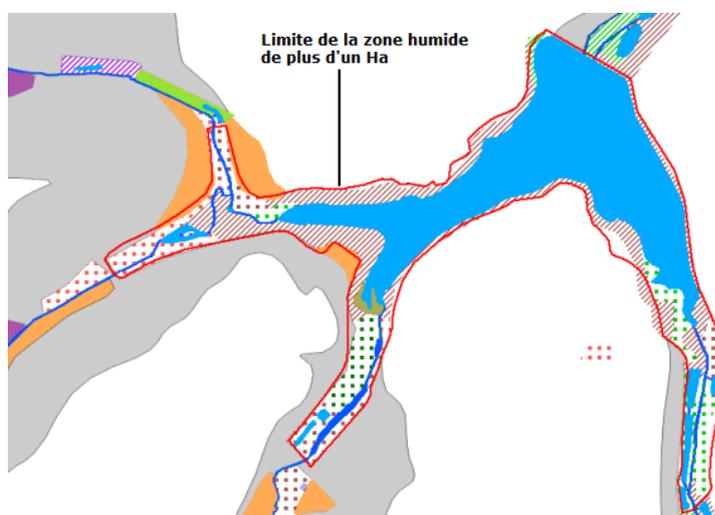


fig. 9) Détail de la corrélation entre la photo-interprétation et la limite des zones humides

3) Les données exogènes de délimitation à l'aide de critères eau

A) 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. À cet effet, l'ensemble des couches fournies, généralement sur un découpage départemental, a été assemblé avant mise à jour et nettoyage.

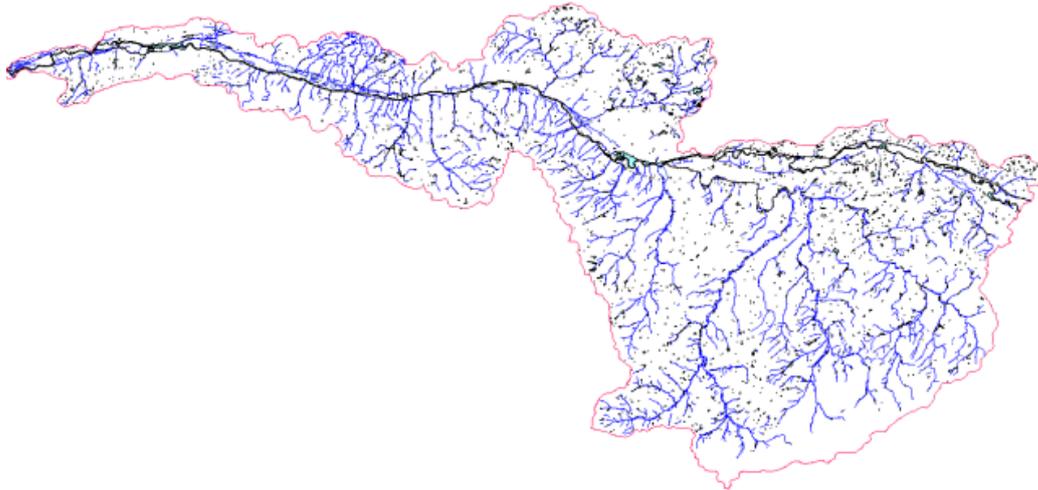


fig. 10) Illustration de l'assemblage des différentes BD TOPO des départements composant le SAGE Cher aval

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 se trouve dans la couche SURFACE_EAU car les deux berges sont délimitées.

B) 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 moins précis que celui de la BD TOPO.

C) Les données plans d'eau des DDT

Il s'agit de couches plans d'eau sur les départements 41, 18, 36 et 37 sous forme de polygones ou de points.

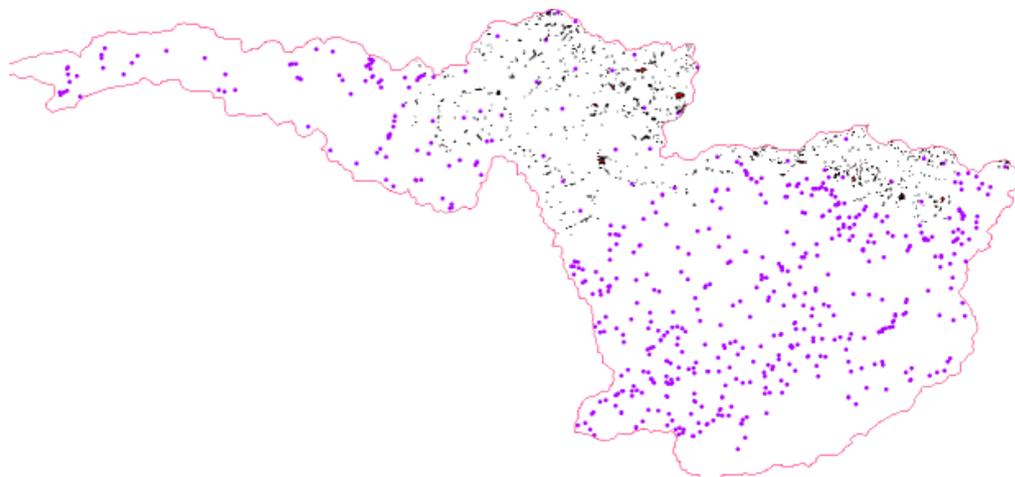


fig. 11) Couches plans d'eau des DDT

La localisation sous forme d'une couche de polygones correspond aux plans d'eau dont la surface est supérieure à 1000 m², et est issue d'un inventaire par télédétection. Cette couche concerne la totalité du département de Loir-et-Cher.

Ces données seront utilisées en références, c'est à dire que le photo-interprète lors de la création de la couche plans d'eau, vérifie la présence ou non des plans d'eau et mares sur la BD Ortho et l'intègre dans la couche finale.

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. 12) 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 territoire du SAGE 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).



fig. 13) Carte de Cassini sur le territoire du SAGE Cher aval

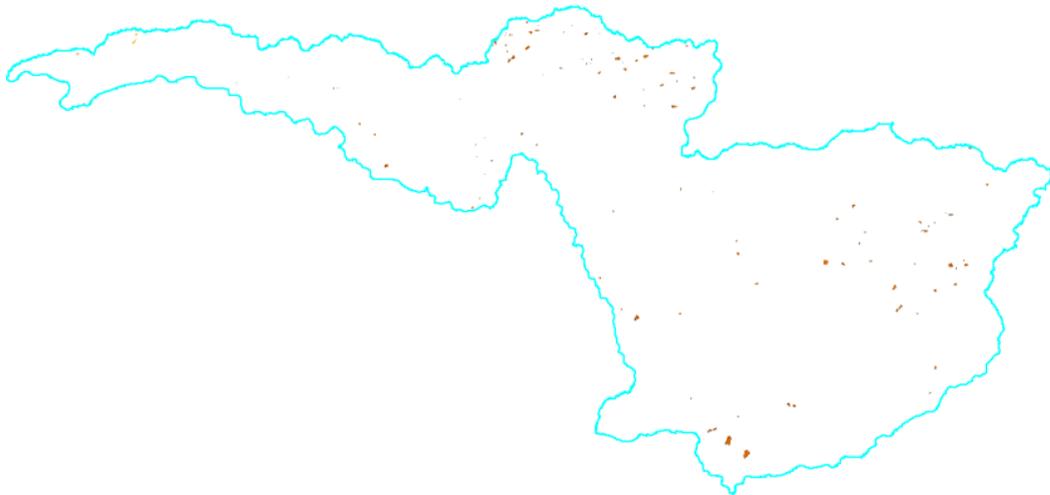


fig. 14) Illustration de la couche complète de Cassini

Ces étangs n'existent plus aujourd'hui, et cette localisation historique constitue une information sur les zones où il existe une potentialité de zones humides.

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.

Il a été repéré lors de ce travail le cas exceptionnel d'un bras abandonné désormais situé sous la ville de Tours et dont on devine encore l'emplacement en raison du découpage des quartiers de la ville. Afin de distinguer ce cas des étangs de Cassini, un code spécial a été affecté à ce polygone.

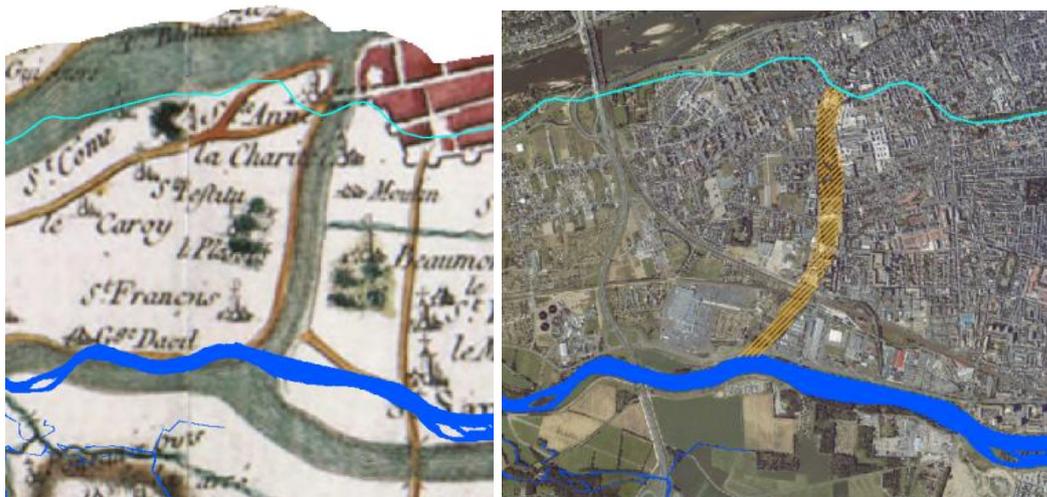


fig. 15) Illustration du bras abandonné sur les cartes de Cassini situé actuellement dans la ville de Tours

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.

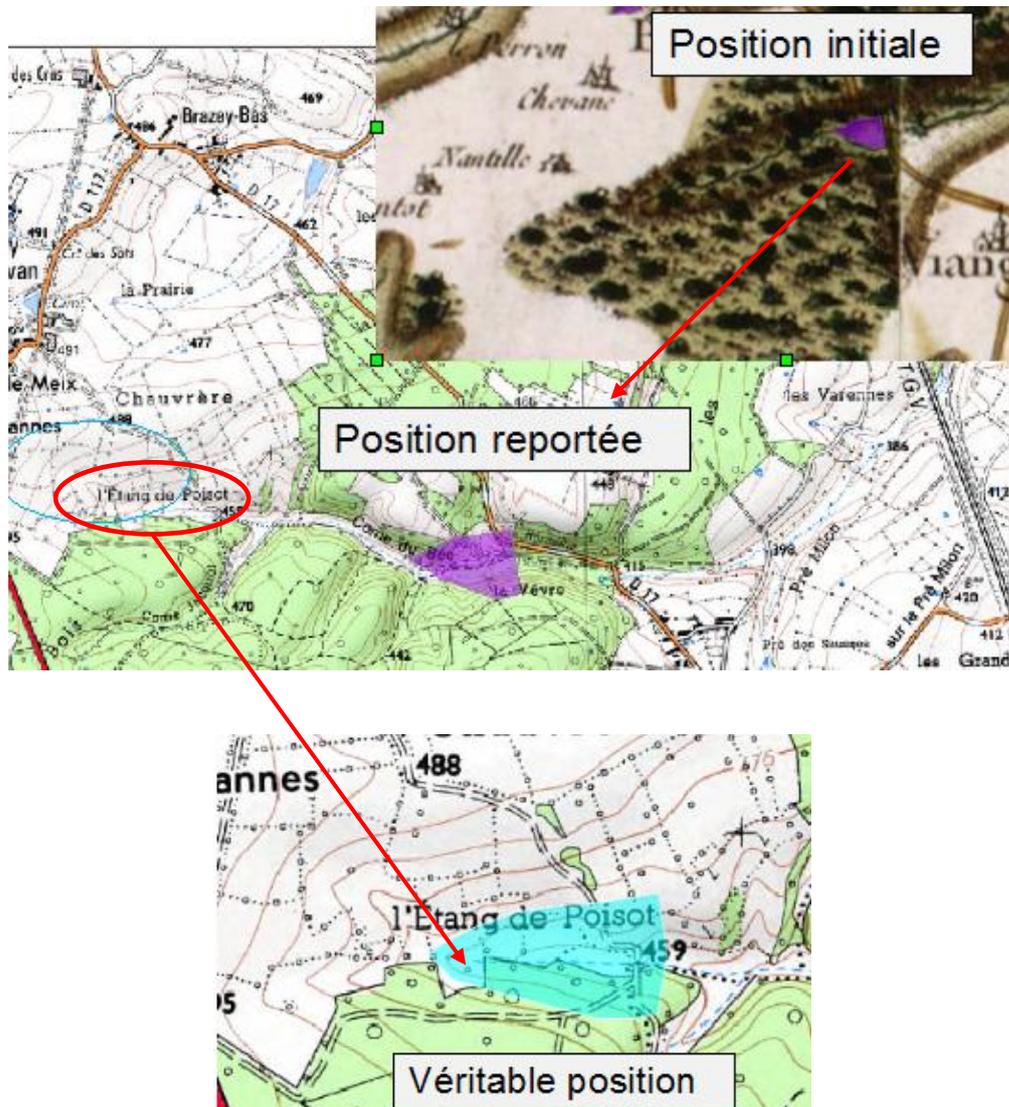


fig. 16) Illustration du recalage des cartes de Cassini sur la BD TOPO

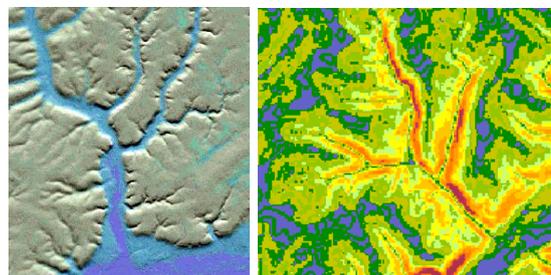


fig. 17) Illustration de la génération d'ombrages et de pentes du MNT pour l'aide au repositionnement des étangs de Cassini

B) Données exogènes pédologiques

Les départements du Cher, d'Indre-et-Loire, du Loir-et-Cher et de l'Indre ont fait l'objet d'un inventaire pédologique réalisé par l'INRA et les Chambres d'agriculture. La grille suit un pas de 100 m pour une cartographie au 1/50 000ème.

a) Sélection des sols

Selon l'arrêté du 24/06/2008, un espace peut être considéré comme zone humide dès qu'il présente des sols qui correspondent à un ou plusieurs types pédologiques parmi ceux mentionnés dans la liste figurant en annexe 1 de l'arrêté et identifiés selon la méthode figurant dans l'annexe 2 de ce même arrêté.

L'arrêté du 1er octobre 2009 modifiant l'arrêté du 24 juin 2008 précise la morphologie des sols de zones humides et les classes d'hydromorphie correspondantes.

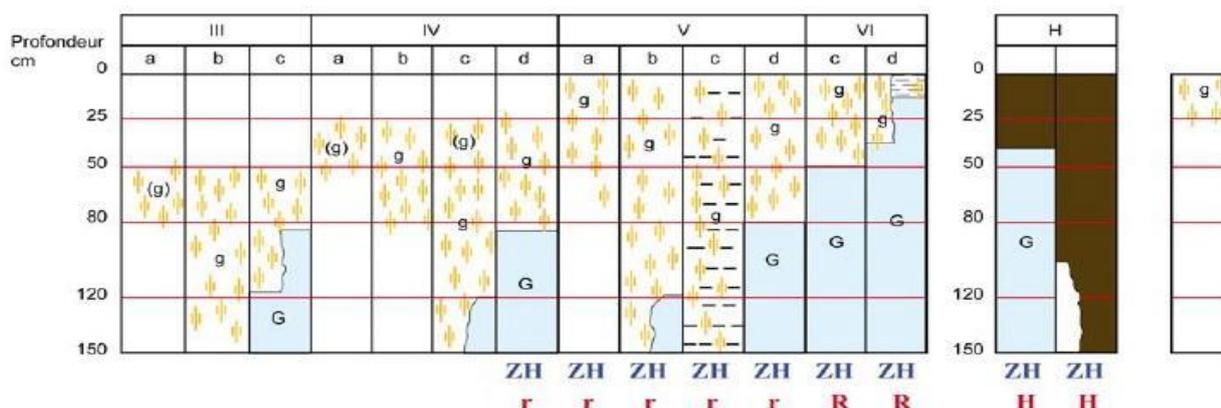
Afin de permettre l'utilisation des bases de données et de documents cartographiques antérieurs à 1995, une table de correspondance entre les dénominations du référentiel pédologique de l'Association française pour l'étude des sols et celles de la commission de pédologie et de cartographie des sols est intégrée à l'arrêté :

pédologique, AFES, Baize & Girard, 1995 et 2008)	ANCIENNES DÉNOMINATIONS (" groupes " ou " sous-groupes " de la CPCS, 1967)
Histosols (toutes référence d').	Sols à tourbe fibreuse. Sols à tourbe semi-fibreuse. Sols à tourbe altérée.
Réductisols (toutes références de).	Sols humiques à gley (1). Sols humiques à stagnogley (1) (2). Sols (peu humifères) à gley (1). Sols (peu humifères) à stagnogley (1) (2). Sols (peu humifères) à amphigley (1).
Rédoxisols (pro parte).	Sols (peu humifères) à pseudogley (3) ou (4).
Fluvisols-bruts rédoxisols (pro parte).	Sols minéraux bruts d'apport alluvial-sous-groupe à nappe (3) ou (4).
Fluvisols typiques-rédoxisols (pro parte).	Sols peu évolués d'apport alluvial-sous-groupe " hydromorphes " (3) ou (4).
Fluvisols brunifiés-rédoxisols (pro parte).	Sols peu évolués d'apport alluvial-sous-groupe " hydromorphes " (3) ou (4).
Thalassosols-rédoxisols (toutes références de) (pro parte).	Sols peu évolués d'apport alluvial-sous-groupe " hydromorphes " (3) ou (4).
Planosols typiques (pro parte).	Sols (peu humifères) à pseudogley de surface (3) ou (4).
Luvisols dégradés-rédoxisols (pro parte).	Sous groupe des sols lessivés glossiques (3) ou (4).
Luvisols typiques-rédoxisols (pro parte).	Sous groupe des sols lessivés hydromorphes (3) ou (4).
Sols salsodiques (toutes références de).	Tous les groupes de la classe des sols sodiques (3) ou (4).
Pélosols-rédoxisols (toutes références de) (pro parte).	Sols (peu humifères) à pseudogley (3) ou (4).
Colluviosols-rédoxisols.	Sols peu évolués d'apport colluvial (3) ou (4).
Podzols humiques et podzols humoduriques.	Podzols à gley (1). Sous-groupe des sols podzoliques à stagnogley (1), (3) ou (4). Sous-groupe des sols podzoliques à pseudogley (3) ou (4).

- (1) A condition que les horizons de " gley " apparaissent à moins de 50 cm de la surface.
- (2) A condition que les horizons de " pseudogley " apparaissent à moins de 50 cm de la surface et se prolongent, s'intensifient ou passent à des horizons de " gley " en profondeur.
- (3) A condition que les horizons de " pseudogley " apparaissent à moins de 25 cm de la surface et se prolongent, s'intensifient ou passent à des horizons de " gley " en profondeur.
- (4) A condition que les horizons de " pseudogley " apparaissent à moins de 50 cm de la surface et se prolongent, s'intensifient et passent à des horizons de " gley " en profondeur (sols " à horizon réductique de profondeur ").

Cas particuliers :

Dans certains contextes particuliers (fluviosols développés dans des matériaux très pauvres en fer, le plus souvent calcaires ou sableux et en présence d'une nappe circulante ou oscillante très oxygénée ; podzols humiques et humoduriques), l'excès d'eau prolongée ne se traduit pas par les traits d'hydromorphie habituels facilement reconnaissables. Une expertise des conditions hydrogéomorphologiques (en particulier profondeur maximale du toit de la nappe et durée d'engorgement en eau) doit être réalisée pour apprécier la saturation prolongée par l'eau dans les cinquante premiers centimètres de sol.



Morphologie des sols correspondant à des "zones humides" (ZH)

- (g) caractère rédoxique peu marqué (pseudogley peu marqué)
 g caractère rédoxique marqué (pseudogley marqué)
 G horizon réductique (gley)
 H Histosols R Réductisols
 r Rédoxisols (rattachements simples et rattachements doubles)

d'après Classes d'hydromorphie du Groupe d'Étude des Problèmes de Pédologie Appliquée (GEPPA, 1981)

Les sols dénommés hydromorphes (code 204) dans la base de données de l'INRA correspondent parfaitement aux critères de l'arrêté. Ils sont représentés en rouge sur la carte ci-dessous.

Sont décrits également des sols moyennement hydromorphes – drainage faible à très faible, avec une hydromorphie temporaire à moins de 40 cm (code 203) représentés en orange dont l'emprise est très forte sur le SAGE (plus de la moitié).

La carte à disposition du SAGE est un document cartographique simplifié dont l'échelle peut induire des décalages et des imprécisions même pour une restitution au 1/25000. De plus, ces cartes sont issues d'interpolations d'échantillonnages de terrain dans un maillage régulier et il est possible que des secteurs ne correspondent pas aux sols cartographiés.

2. INTENSITE DE LA STAGNATION D'EAU	HYD	
Ressuyage correct à favorable : classes 0, 1, 2	201	
Drainage imparfait. Hydromorphie temporaire entre 40 et 80 cm : classe 3	202	
Drainage faible à très faible. Hydromorphie temporaire à moins de 40 cm : classes 4, 5	203	
Autre	204	Sols Hydromorphes (Nat, 24, 25, 26, 27 et 28)
Autre	205	zones anthropiques (Nat 32)
Autre	206	plans d'eau et rivières (Nat 33)

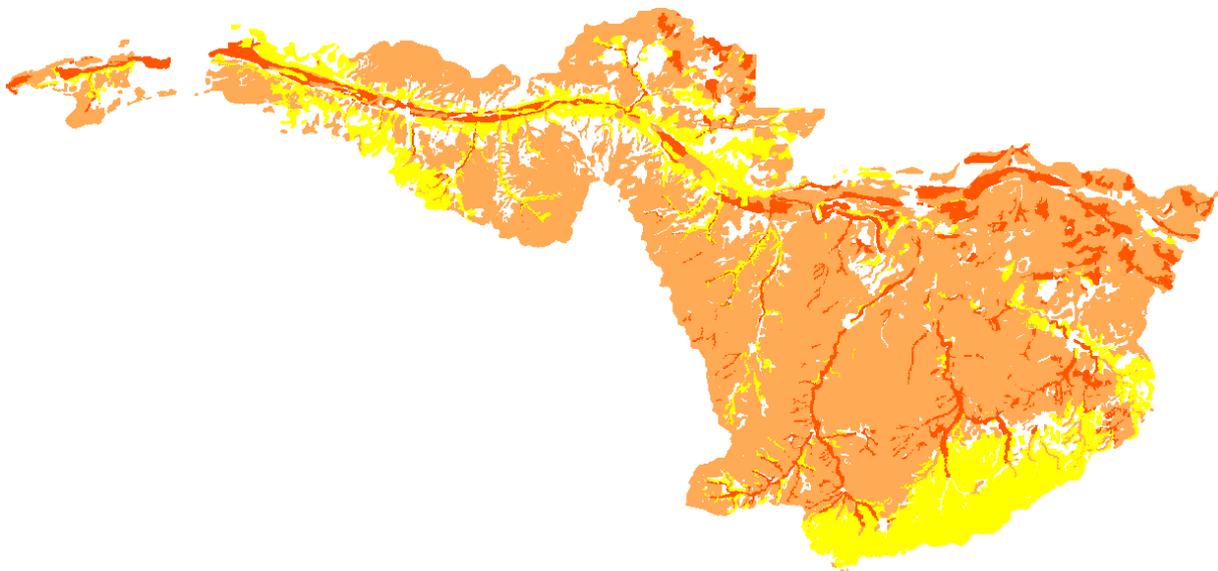


fig. 18) Carte pédologique suivant les classes d'hydromorphie

Cette même carte pédologique est également décrite selon une nomenclature des types de sols. Ont été surlignés en couleurs les types de sols susceptibles d'accueillir des zones humides. Les rédoxisols et réductisols surlignés en rouge correspondent à la classe 204 des sols hydromorphes.

Étant donné l'imprécision quant à la définition des sols de cette carte, il a été décidé de ne retenir que les redoxisols et les réductisols dont le caractère humide ne permet pas de doute. En effet, les autres sols ont des caractéristiques pouvant ou non entrer dans l'arrêté et induiraient une large surestimation des enveloppes à probabilité de présence de zones humides.

b) Intégration des sols

Ces données étant sous la forme d'image (raster) au pas de 100 m, elles ont été vectorisées et lissées afin de constituer un vecteur dont les limites ont été considérées comme une enveloppe de zones humides probables.

Cette enveloppe sera par la suite intégrée dans le travail final de cartographie des zones humides probables en privilégiant les inventaires et le travail de photo-interprétation.

5. TYPES DE SOLS (CPCS)	NAT	Nom RP
Sols d'apport alluvial (regosol)	30	REGOSOL
Sols superficiels (lithosols, ranker)	31	LITHOSOL, RANKOSOL
Sols alluviaux non calcaires	1	FLUVIOSOL insaturé
Sols alluviaux saturés ou calcaires	2	FLUVIOSOL saturé
Sols colluviaux non calcaires	3	COLLUVIOSOL insaturé
Sols colluviaux saturés ou calcaires	4	COLLUVIOSOL saturé
Rendzines claires fortement effervescentes	5	RENDOSOL hypercalcaire
Rendzines brunes moyennement effervescentes	6	RENDOSOL
Rendzines rouges recarbonatées	7	RENDOSOL
Rendzines dolomitiques et pararendzines	8	RENDOSOL dolomitique, DOLOMITOSOL
Sols bruns calcaires	9	CALCOSOL
Sols bruns calciques ou eutrophes	10	CALCISOL
Sols bruns modaux, mésotrophes	11	BRUNISOL saturé
Sols bruns acides	19	BRUNISOL insaturé, ALOCRI SOL
Complexes de sols bruns et de sols bruns faiblement lessivés	12	BRUNISOL luvique
Sols bruns lessivés	13	NEOLUVISOL
Sols lessivés	14	LUVISOL
Sols lessivés dégradés	15	LUVISOL dégradé
Sols bruns ocreux et associations de sols podzolisants	20	?
Sols ocres podzoliques	21	PODZOSOL ocrique
Sols podzoliques	22	PODZOSOL juvénile
Podzols (humiques, ferrugineux, humo-ferrugineux)	23	PODZOSOL
Tourbes acides	27	HISTOSOL insaturé
Tourbes saturées ou calcaires	28	HISTOSOL saturé
Sols à pseudogley (hydromorphie temporaire)	24	REDOXISOL
Sols à nappe permanente profonde (gley à plus de 80 cm de profondeur)	25	REDUCTISOL typique
Sols à nappe permanente peu profonde (gley superficiel)	26	REDUCTISOL stagnique
Pelosols	18	PELOSOL
Sols planosoliques	17	PLANOSOL
Sols sur altérites anciennes	29	BRUNISOL rubéfié
Sols à caractères vertiques marqués	16	BRUNISOL vertique / VERTISOL
Autres	34	
Sols profondément remaniés par l'homme	32	ANTHROPOSOL et non sol
Eau libre	33	EAU

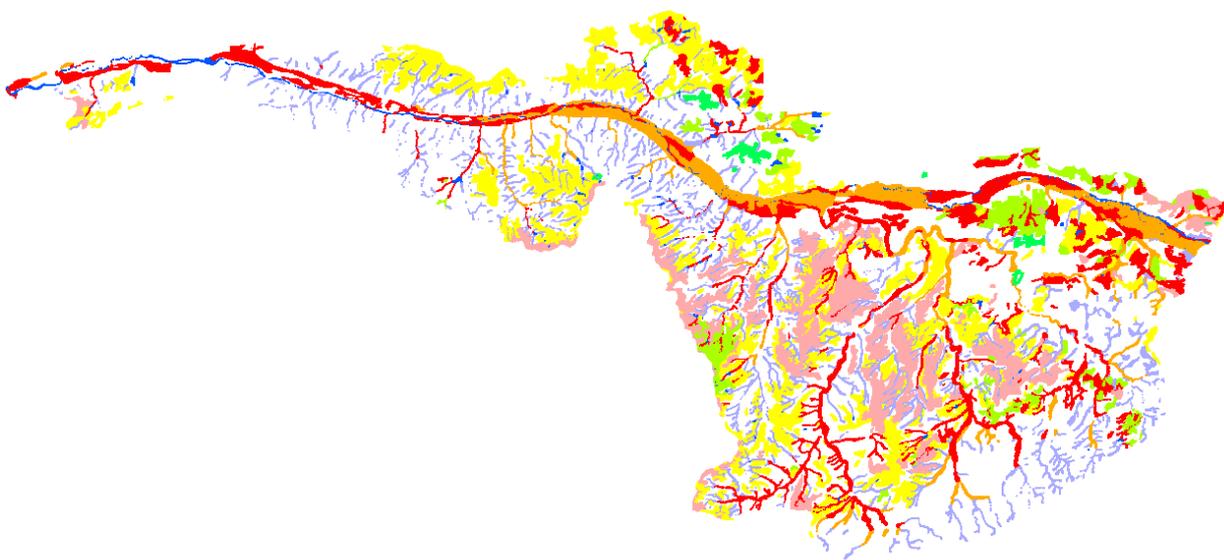


fig. 19) Carte pédologique suivant la typologie des sols – Les sols retenus sont en rouge.

5) Les données issues de traitements de données

A) L'indice IBK

a) Le Modèle numérique de terrain (MNT)

Le MNT utilisé pour l'étude est initialement à une résolution de 25 mètres, mais ce pas de 25 mètres est difficilement exploitable dans le cadre de calculs d'indice, car il est important que les petits artefacts ne perturbent pas les calculs. C'est pourquoi il a été rééchantillonné à 50 mètres.



fig. 20) Illustration du MNT sur le SAGE Cher aval

Le MNT présente 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. 21) 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.

De plus, les valeurs de ce MNT sont en entier (sans chiffres à virgule), ce qui pose le problème des faibles pentes, car cela génère des artefacts qui correspondent à des sauts de courbes de niveau. 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. 22) Schéma de deux types d'interpolation de la pente en fonction du point d'origine

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 même sur une fenêtre de 5x5 pixels ne reflètent pas toujours la réalité du terrain et génère des zones qui nécessiteront un traitement vectoriel.



fig. 23) Illustration du problème des faibles pentes calculées sur des nombres entiers.

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

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

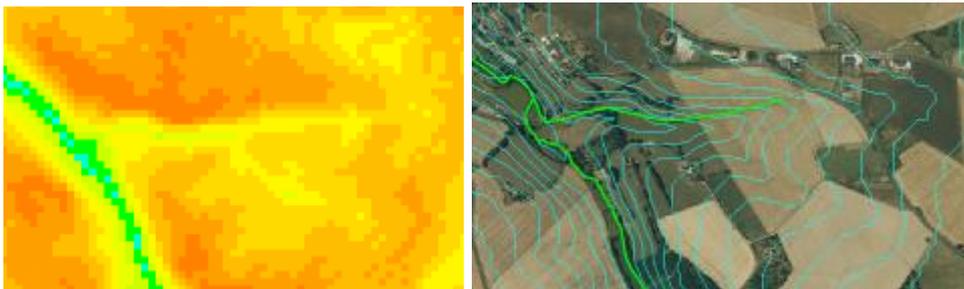


fig. 24) Illustration comparative entre l'IBK et les courbes de niveau sur fond de BD ORTHO

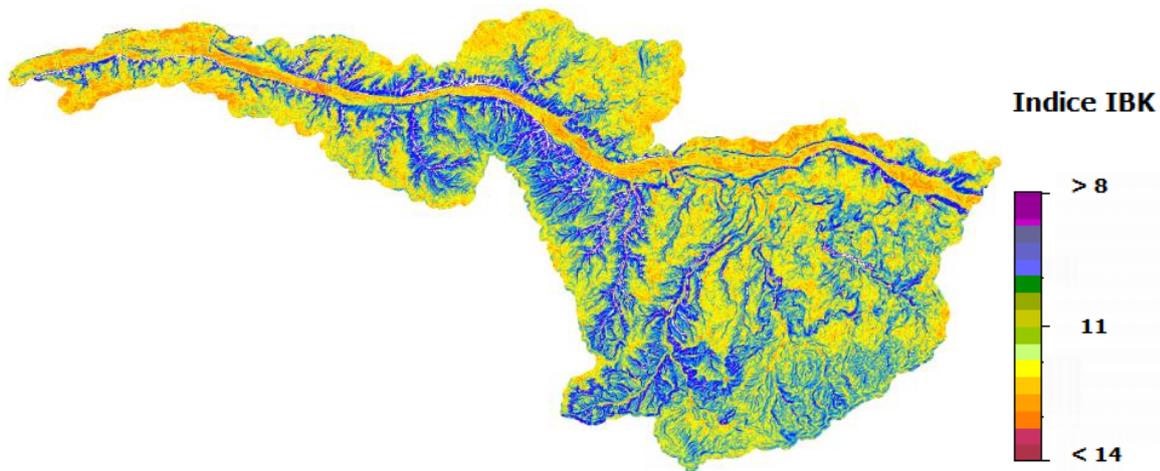


fig. 25) Carte de l'Indice topographique de Beven-Kirkby (IBK)

L'indice topographique de Beven-Kirkby (IBK) obtenu sur la zone d'étude est difficile à exploiter. Cette combinaison de la pente et de la surface drainée est particulièrement influencée par les surfaces de drainage qui sont chaotiques du fait du peu de pentes et d'un réseau anthropique de drainage important dans les parties agricoles comme forestières.

c) Exploitation de l'IBK

Il s'agit de déterminer avec cet indice, là où l'eau a le plus de probabilité de rester plus ou moins temporairement et donc de présenter des zones humides. Des seuils de valeurs vont permettre de différencier le potentiel des zones à contenir des zones humides.

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, la probabilité peut être forte, mais dans les faits, dans une zone majoritairement agricole et drainée par exemple, on trouve peu de zones humides. Il est d'ailleurs possible de voir des surfaces imperméabilisées (en zone urbaine) se retrouver dans la classe initialement « forte » de l'IBK ce qui montre bien les limites de cette information, car le produit mathématique ne prend pas en compte l'occupation du sol.

Pour déterminer les seuils, il est préférable de disposer d'informations sur l'ensemble du SAGE pour corréliser les zones de présence effectives de zones humides et les valeurs de l'IBK. Les informations d'inventaires existants ne sont pas assez exhaustives sur l'ensemble du territoire et baser les seuils sur secteurs risque d'engendrer un biais. Les seuils pourraient être adaptés à ces secteurs, mais pas à d'autres non représentés. Il a donc été décidé de réaliser la photo-interprétation et d'ajouter les zones humides à indice de confiance maximal aux inventaires pour fixer les seuils.

À partir des statistiques réalisées, on peut établir deux seuils : de 12.5 représentant la forte probabilité de présence de zones humides qui correspondent à 80 % de présence cumulée des échantillons utilisés pour le calibrage, et de 11.25 représentant la forte probabilité de présence de zones humides qui correspondent à 65 % de présence cumulée des échantillons.

< 10	10 - 10.25	10.25 - 10.5	10.5 - 10.75	10.75 - 11
23.63	30.19	37.75	45.17	54.65
11 - 11.25	11.25 - 11.5	11.5 - 11.75	11.75 - 12	12 - 12.25
64.35	70.68	74.37	77.15	79.42
12.25 - 12.5	12.5 - 12.75	12.75 - 13	13 - 13.25	> 13.25
81.01	82.62	84.31	85.76	100

fig. 26) Tableau des pourcentages cumulés de présence de zones humides probables (issues de la photo-interprétation) avec les valeurs de l'indice IBK

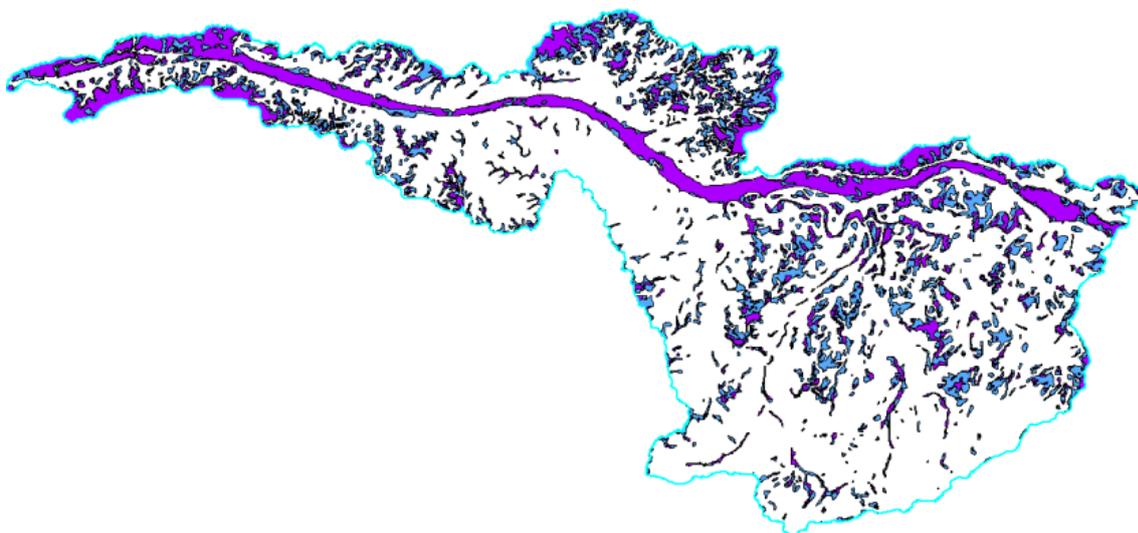


fig. 27) Carte des probabilités de présence de zones humides, à partir du calcul de l'IBK, du moyennement probable (bleu) au plus probable (violet)

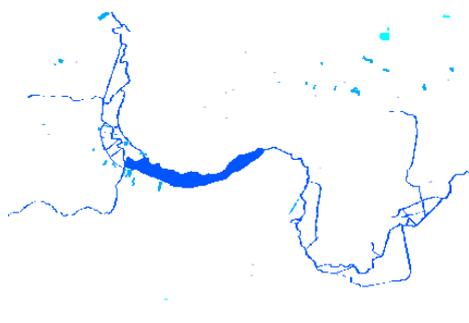
B) Création d'une enveloppe d'alerte autour du réseau hydrographique linéaire et surfacique

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.



VAL	Artif	Fictif	Perm
11	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
110	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

fig. 28) Illustration de la sélection des tronçons par champs attributaires 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 (bassin d'épuration) 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. 29) 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.

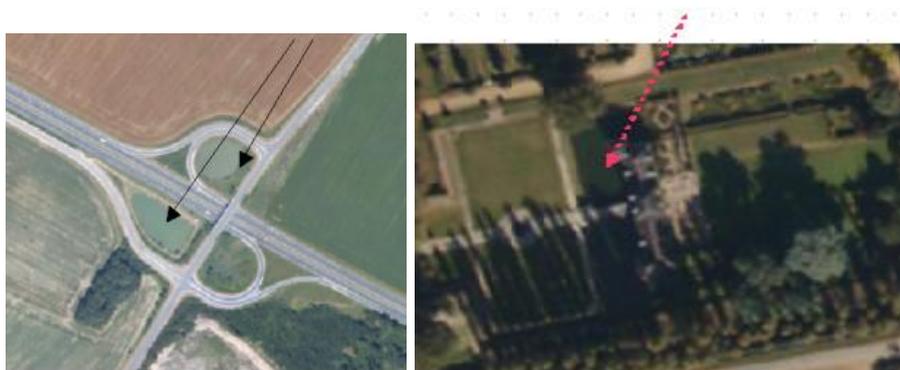


fig. 30) Illustration d'éléments artificiels de type bassin de rétention isolé ou plan d'eau de parc d'agrément.

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'écarter 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 une zone tampon 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. 31) 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.



fig. 32) 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 BD Carthage tout en recalant le tracé par rapport à l'image.



fig. 33) 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.

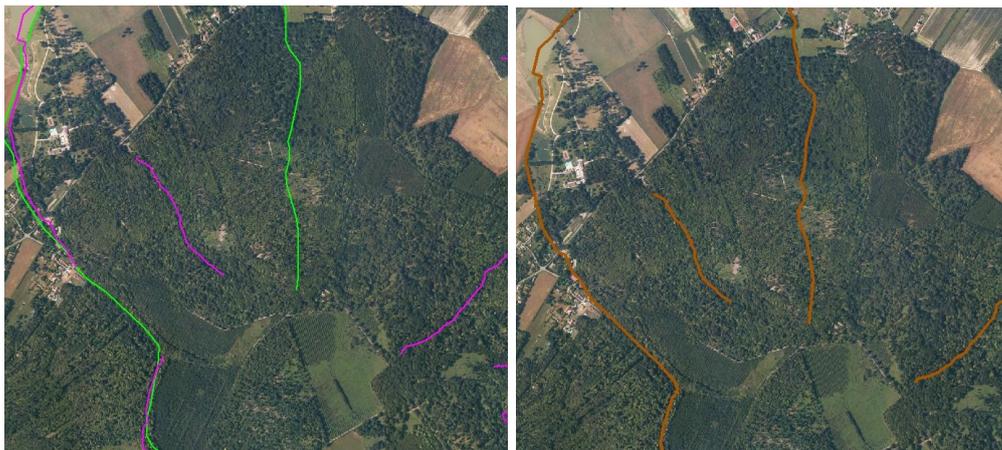


fig. 34) Illustration de l'intégration de la BD Carthage dans les zones forestières

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. 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.

Il est à noter qu'une classe « Sédiments sur berges » a été définie pour identifier les zones sableuses en bordure de plan d'eau. Cette classe est très peu représentée (79 polygones).



fig. 35) Illustration de la classe « Sédiments sur berges »

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 elles ne serviront pas à l'élaboration de la couche du buffer sur le réseau hydrographique servant à élaborer les zones de probabilité de 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.

Enfin, la dernière étape de la mise à jour des plans d'eau a été de passer en revue les plans d'eau et mares des données exogènes (DDT) afin de contrôler qu'ils sont bien intégrés dans la couche finale de plan d'eau. Aucune zone tampon n'a été utilisée pour les données ponctuelles. Le photo-interprète affiche la couche de point et délimite en fonction de l'information présente sur les images. Pour les mares les plus petites, il utilise parfois l'outil cercle, car il lui est impossible au 1/2500 de délimiter finement à la souris de petites surfaces. La limite inférieure retenue est de 20 m².

Les mares sont systématiquement toutes les surfaces en eau < 100 m². Ensuite, l'appréciation entre plans d'eau et mares s'est faite selon le contexte. La distinction entre plan d'eau et mare se fait normalement sur la profondeur, or il est évident que le photo-interprète ne peut avoir accès à cette information. Toutefois, la présence de végétation dans le plan d'eau (hors végétation flottante) peut laisser supposer que la profondeur correspond plus à une mare qu'à un plan d'eau. Mais cet aspect reste suggestif puisqu'il dépend du niveau d'eau à un état T au moment de la prise de vue.

Nomenclature de la couche : plans d'eau

CODE	DESCRIPTION
100	Cours d'eau principal
101	Canal
99	Plan d'eau (semi) naturel
98	Plan d'eau de gravière ou carrière encore en activité
97	Mares
95	Plan d'eau artificiel non utilisé pour la génération des zones tampons
90	Sédiments sur berges

fig. 36) Table des codes typologiques des plans d'eau

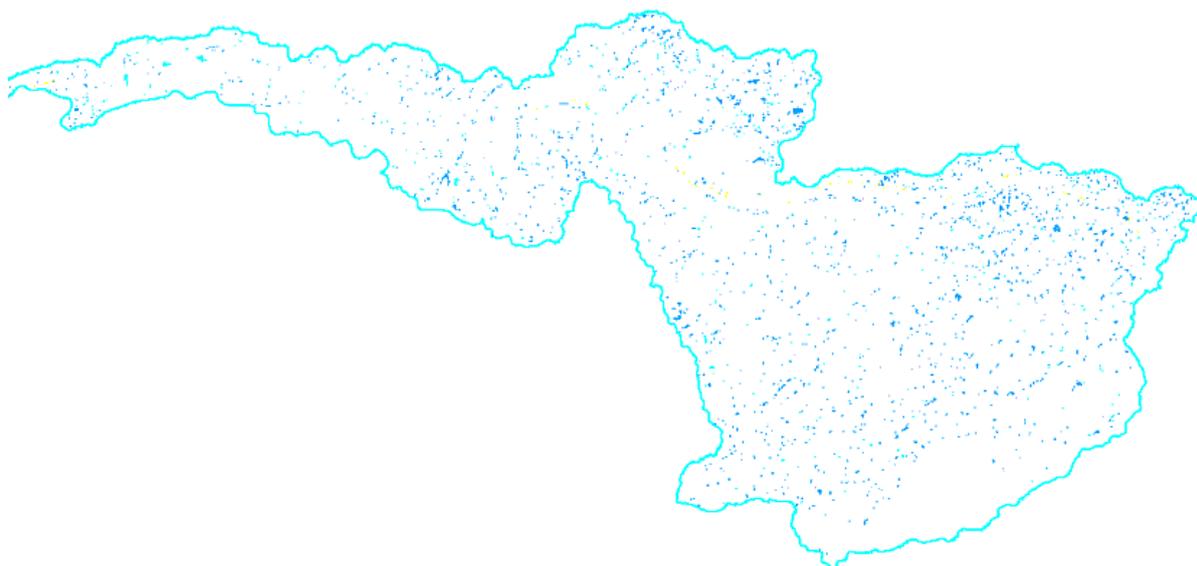


fig. 37) Extrait de la cartographie finale des plans d'eau qui comprend 4583 plans d'eau et mares.

Un plan d'eau n'étant pas une zone humide, ils seront intégrés dans la couche finale, mais considérés comme « non humide ».

c) Transformation du linéaire en polygonal

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.

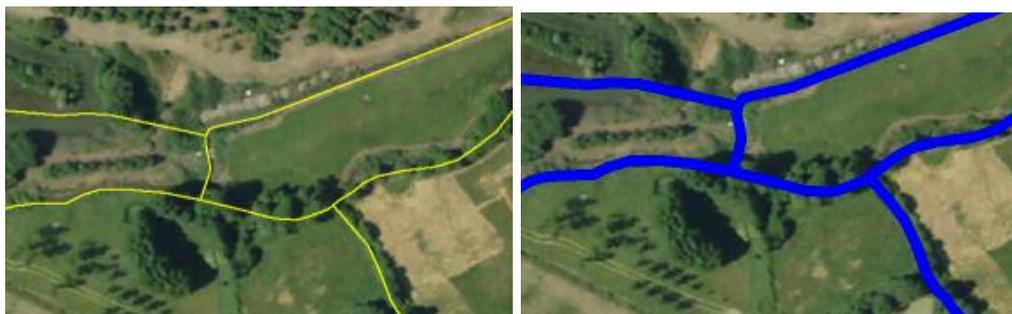


fig. 38) Illustration de la transformation du linéaire en surfacique par une zone tampon de 2.5 m

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.

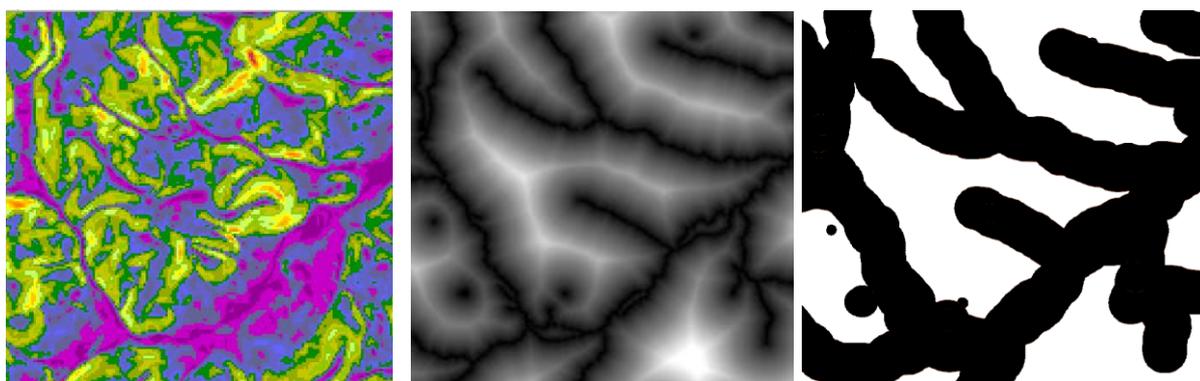


fig. 39) Illustration de la génération de la combinaison entre la pente (gauche), la distance au réseau (centre) et la zone maximale de 250 m du réseau (droite).

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 ».

La première étape consiste en une génération d'une zone tampon 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. 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.

En ce qui concerne les plans d'eau, le résultat est très variable, car cela dépend beaucoup de l'encaissant. 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 sur le SAGE Loir 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. 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.

Dans un premier temps, on calcule une zone tampon de 250 m pour les cours d'eau et de 0 à 150 m pour les plans d'eau en fonction de leurs tailles :

Sup. à 1000 m² => buffer de 150 m

Sup. à 400 m² => buffer de 100 m

Sup. à 40 m² => buffer de 50 m

Inf. à 40 m² => rien

Ensuite, on applique une 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.



fig. 40) Illustration du résultat du calcul du buffer en fonction de la pente

Pente	Distance/cours d'eau	Distance/plans d'eau
= 0	250 m	150 à 50 m
> 0 à 1°	200 m	150 à 50 m
2 à 4°	150 m	150 à 50 m
5 à 6°	50 m	50 m
> 6°	Rien	Rien

fig. 41) Tableau de méthodologie de calcul de la taille de la zone tampon en fonction de la pente

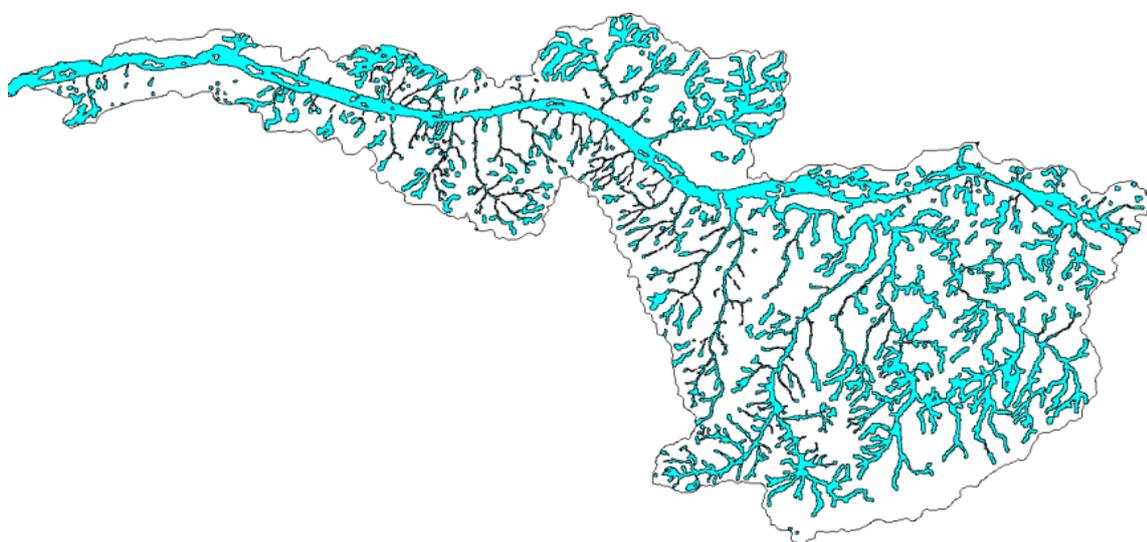


fig. 42) Résultat de la création des zones tampons sur les plans d'eau et les cours d'eau

III) Télédétection

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).

1) Imagerie BD ORTHO

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.

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



fig. 43) Illustration de l'ensemble des 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. 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.

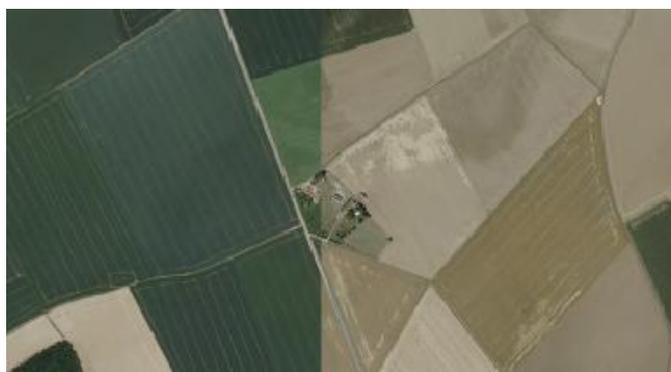


fig. 44) Illustration de la différence de qualités de 2 BD ORTHO

2) Imagerie satellitale

A) Propriétés optiques des végétaux, de l'eau et du sol – Notions de base de télédétection optique-infrarouge

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.

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

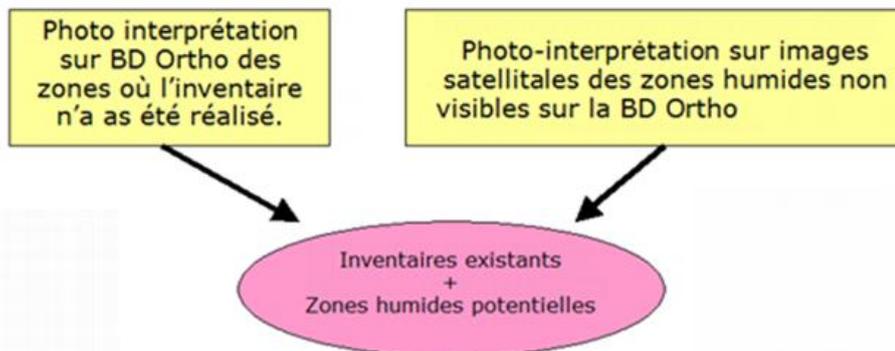


fig. 45) Schéma de synthèse de l'utilisation des différentes données images

B) Les données RAPIDEYE

Les satellites Rapideye lancés depuis 2009 présentent un capteur optimal pour le travail que nous souhaitons réaliser. C'est le seul capteur à faire l'acquisition d'une image couleur à 5 mètres de résolution sans nécessiter de traitements ou de ré-échantillonnage. Son capteur fait l'acquisition de 5 bandes spectrales simultanées couvrant le spectre du visible et du proche infra-rouge.

Les caractéristiques du satellite et des images RAPIDEYE sont

	Description	
Bandes spectrales	Bleu	440–510 nm
	Vert	520–590 nm
	Rouge	630–685 nm
	Red Edge	690–730 nm
	Proche Infrarouge	760–850 nm
Résolution spatiale (au nadir)	6,5 m	
Taille du pixel (après orthorectification)	5 m	
Champ d'acquisition	77 km	
Revisite	journalière	
Horaire de passage à l'Equateur	11 h 00 le matin	
Capacités d'acquisition	4 millions de km ² par jour	

fig. 46) Caractéristiques des images RAPIDEYE



fig. 47) Extrait d'une image RAPIDEYE

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 de la fin d'hiver et en été pour certaines scènes trop nuageuses en hiver, car les sols nus facilitent la détection des zones humides notamment dans les parties agricoles.

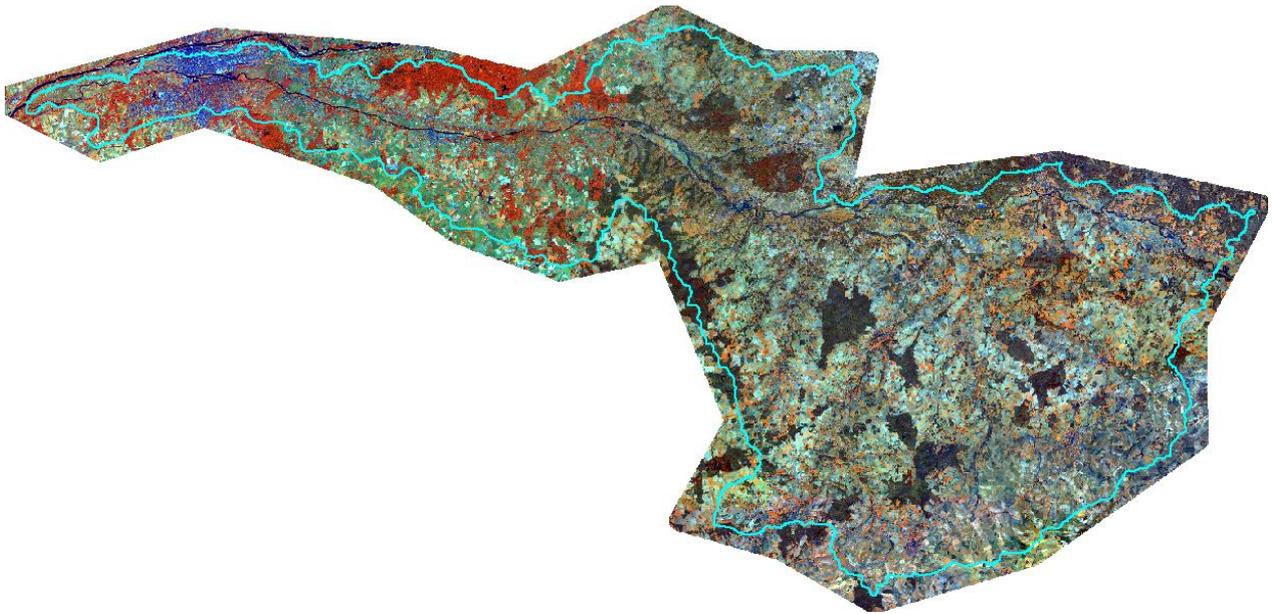


fig. 48) Illustration de la couverture image RAPIDEYE du territoire du SAGE

Sur certains secteurs, il est plus difficile d'identifier les zones humides ou potentiellement humides sur les images satellitales. L'utilisation de ces images permet de lever certains doutes et procure une aide au photo-interprète, mais à une échelle différente.



fig. 49) Illustration de la complémentarité entre la BD Ortho (gauche) et RAPIDEYE (droite) pour la discrimination des secteurs humides

C) Les prétraitements

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. L'orthorectification est un processus de calcul qui a comme objectifs de corriger les déformations de l'image liées au relief de façon à ce que l'image semble être prise à la verticale. 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 parallaxe⁴ commise à l'acquisition

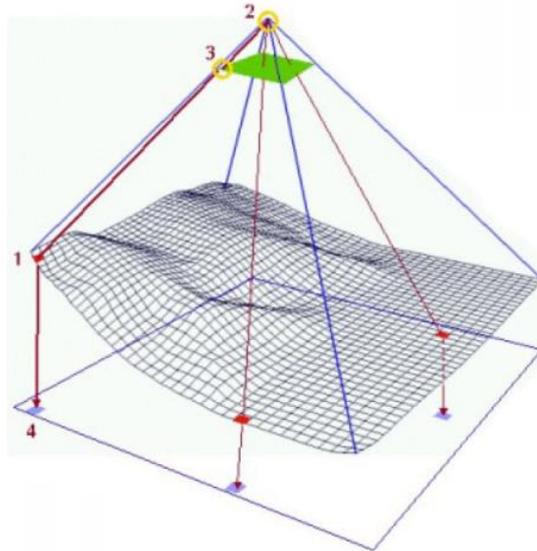


fig. 50) Schéma de la déformation lors de l'orthorectification

IV) Photo-interprétation

1) Échelle 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 1/3000 pour le tracé des zones humides.

⁴ 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.

2) Typologie de photo-interprétation

Chaque type de zone humide a ses propres caractéristiques tant au niveau biodiversité qu'au niveau fonction. Toutefois, 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.

A) Définition de la nomenclature

En photo-interprétation, il est nécessaire de respecter des règles strictes afin de minimiser les confusions. Ainsi, il est nécessaire de ne pas mélanger occupation du sol et fonction par exemple. De même, la relation à un autre paramètre ne doit pas entrer en conflit avec ceux déjà choisis.

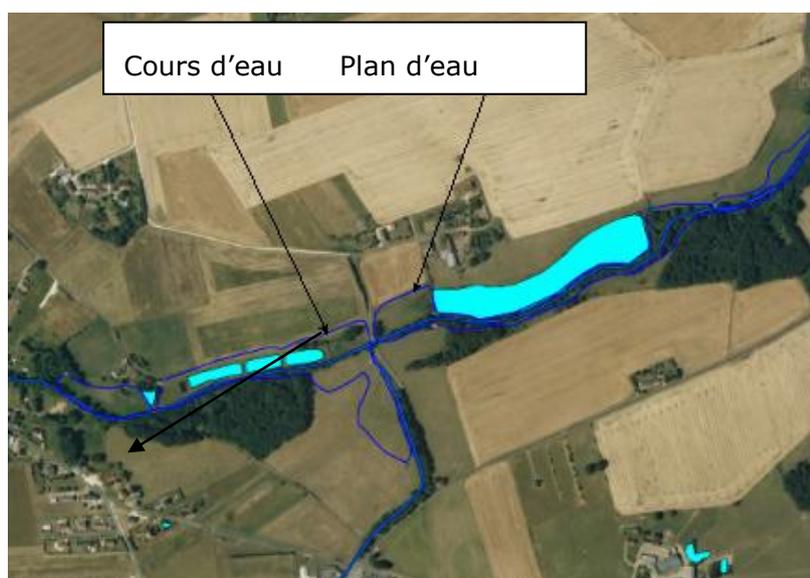


fig. 51) Illustration de la différenciation difficile entre zones humides de bordure de plans d'eau et zones humides de bordure de cours d'eau (Nomenclature SDAGE)

De même, 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, comme le montre l'exemple ci-dessus, car une zone humide peut être les deux à la fois.

Dans la nomenclature proposée, nous avons pris soin de distinguer l'occupation du sol qui correspond au premier niveau de la nomenclature, du milieu dans lequel la zone humide se trouve (2nd niveau de la nomenclature) et de la relation de la zone humide à l'eau (3ème niveau de la nomenclature). Ainsi, les confusions de classes sont inexistantes sauf cas très exceptionnel.

Sa Nature (occupation du sol)	Milieu dans lequel elle se trouve	Sa Relation à l'eau
(1) Surface cultivée	(1) Agricole	(1) Cours d'eau
(2) Surface en herbe		(2) Traces d'écoulement
(3) Zone inondée végétalisée	(2) Semi-naturel (type bassin de rétention, plantation, etc.)	(3) Plan d'eau naturel
(4) Boisement organisé (Type peupleraie)	(3) Péri exploitations matériaux (gravière/sablière)	(4) Plan d'eau artificiel
(5) Zone arborée (Foret)		(5) Autre (dépression ou RH éloigné)
(6) Milieu arbustif naturel	(4) Zone naturelle	(6) Ile du RH
(7) Linéaire arboré (ripisylve)		

fig. 52) Table de la nomenclature finale retenue

NOTE : Le niveau 3 est ajouté par requête SIG sur la base des relations au cours d'eau et plans d'eau.

NOMENCLATURE	
1	Surface cultivée
2	Surface en herbe
3	Surface inondée végétalisée
4	Boisement organisé
5	Milieu arboré (Forêt)
6	Milieu arbustif
7	Linéaire arboré
1	agricole
2	aménagée (loisir, plantation ou EP)
3	périphérique aux extractions de matériaux
4	naturelles
1	en bordure de cours d'eau
2	avec traces d'écoulements
3	en bordure de plan d'eau naturel
4	en bordure de plan d'eau artificiel
5	autre
6	iles

11	Surface cultivée humide en zone agricole
21	Surface humide en herbe en zone agricole
22	Surface humide en herbe en zone aménagée
23	Surface humide en herbe en zone d'extraction de matériaux
24	Surface humide en herbe en zone naturelle
34	Surface inondée végétalisée en zone naturelle
42	Boisement organisé en zone aménagée
43	Boisement organisé en zone d'extraction de matériaux
52	Milieu arboré humide en zone aménagée
54	Milieu arboré humide en zone naturelle
62	Milieu arbustif humide en zone aménagée
63	Milieu arbustif humide en zone d'extraction de matériaux
64	Milieu arbustif humide en zone naturelle
72	Linéaire arboré en zone aménagée
74	Linéaire arboré en zone naturelle

fig. 53) En vert, les classes identifiées sur la BD Ortho au niveau 1 et 2 de la nomenclature. Les classes en bleu n'existent pas

B) Relation à la nomenclature SDAGE

Plusieurs études ont été réalisées suivant la nomenclature proposée par le SDAGE. Comme indiqué précédemment, cette nomenclature pose le problème du mélange des critères de discrimination. Ainsi, l'occupation du sol est dominante pour certaines alors que c'est la relation au cours d'eau qui l'est pour d'autres. La « zone humide ponctuelle » quant à elle se base sur le critère d'isolement et de taille. Ceci implique une difficulté de classement des zones humides photo-interprétées.

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
9	Marais

fig. 54) Table de la typologie de la nomenclature SDAGE

Dans le cadre de cette étude, il a été décidé de ne pas utiliser cette nomenclature pour la photo-interprétation, mais de garder un lien avec cette nomenclature. Une requête SIG a donc été élaborée pour faire le lien entre les polygones de zones humides réalisés et cette nomenclature. Il est donc possible d'avoir un même polygone rattaché à plusieurs entités de la nomenclature.

En premier :

- 1) pour toutes les ZH en bordure (*) de plan d'eau -> lien vers classe 8
- 2) pour toutes les ZH en bordure (*) de cours d'eau -> lien vers classe 6
- 3) Pour les ZH non rattachées au cours d'eau ni aux plans d'eau -> lien vers classe 5

Puis :

- 4) pour les objets de classes 54 et 52 -> lien vers classe 1
- 5) pour les objets de classes 11, 21 et 22 -> lien vers classe 2
- 6) pour les objets de classe 42 -> lien vers classe 3
- 7) pour les objets de classes 72 et 74 -> lien vers classe 4
- 8) pour les objets de classe 34 -> lien vers classe 9

Il ne reste les classes 24, 62 et 64 qui ne seront rattachées que par les trois premières règles.

(*) sur une longueur significative et non ponctuellement.

C) Explications de la nomenclature utilisée lors de l'interprétation

Surface cultivée en zone agricole (11)

La photo-interprétation se base sur ce qui est visible et la pédologie n'en fait pas partie. Seules les zones où un lessivage ou une humidité présente au moment de la prise de vue peuvent être cartographiées. Cette classe regroupe donc les parcelles cultivées ou en labours dans lesquelles des zones humides sont visibles grâce à des taches sombres liées à des dépressions, des écoulements ou des paléo-écoulements. Généralement, on observe la continuité des écoulements dans les zones adjacentes. Parfois, une végétation opportuniste marque la présence d'eau. La délimitation ne suit pas la limite de la parcelle, mais bien la zone potentiellement humide.



fig. 55) Cas de traces d'écoulement dans un champ



fig. 56) Cas de zones d'humidité dans un champ (nappe ou dépression)



fig. 57) Cas de traces d'écoulement dans un champ

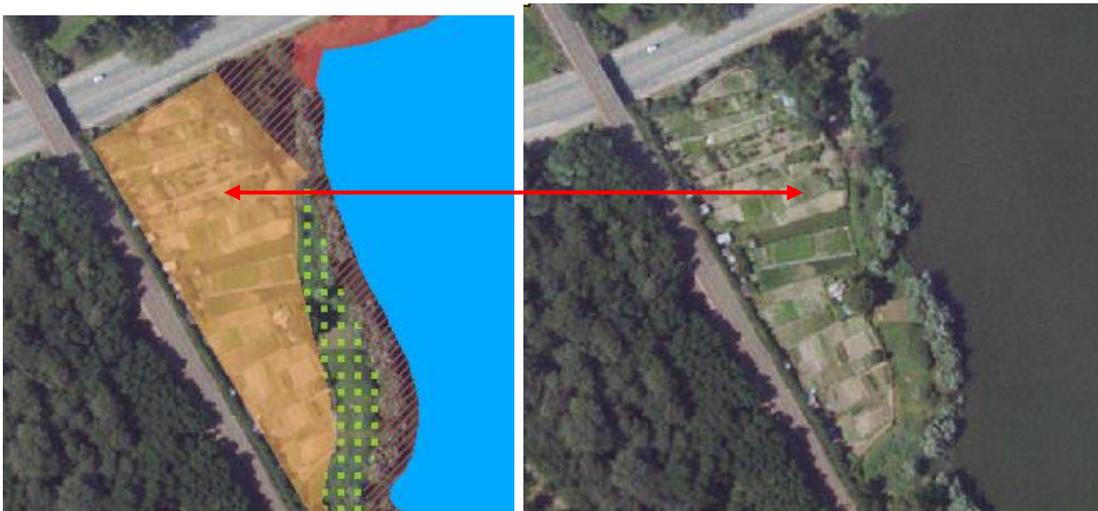


fig. 58) Cas de jardins ouvriers au bord d'un plan d'eau

Surface en herbe en zone agricole (21)

Cette classe correspond à des parcelles en herbe dans lesquelles des zones humides sont visibles par des taches sombres liées à des dépressions, des écoulements ou des paléo-écoulements. La délimitation ne suit pas la limite de la parcelle, mais bien la zone potentiellement humide.

Est considéré comme agricole, toute parcelle dont des traces indiquent une exploitation : animaux, traces d'animaux, fauchage, absence de végétation opportuniste, drainage, etc. Il est difficile en l'absence de ces indicateurs de distinguer prairies naturelles des prairies agricoles. Toutefois, une parcelle dont toutes les voisines sont des zones en cultures ou en prairies exploitées/pâturées sera considérée comme en « zone agricole ».



fig. 59) Cas de prairies pâturées le long d'un cours d'eau



fig. 60) Cas de prairies en milieu majoritairement agricole le long d'un cours d'eau



fig. 61) Cas de prairies drainées



fig. 62) Cas de prairies pâturées et drainées le long d'un cours d'eau

Surface en herbe en zone aménagée (22)

Cette classe correspond à des parcelles en herbe dans lesquelles des zones humides sont visibles par des taches sombres liées à des dépressions, des écoulements ou la proximité immédiate d'un plan d'eau.

Généralement, la parcelle n'est pas exploitée dans un but agricole, mais est aménagée (chemins, accueil du public, etc.). Bien que la végétation puisse être naturelle, elle est considérée comme non-naturelle du fait de l'aménagement.

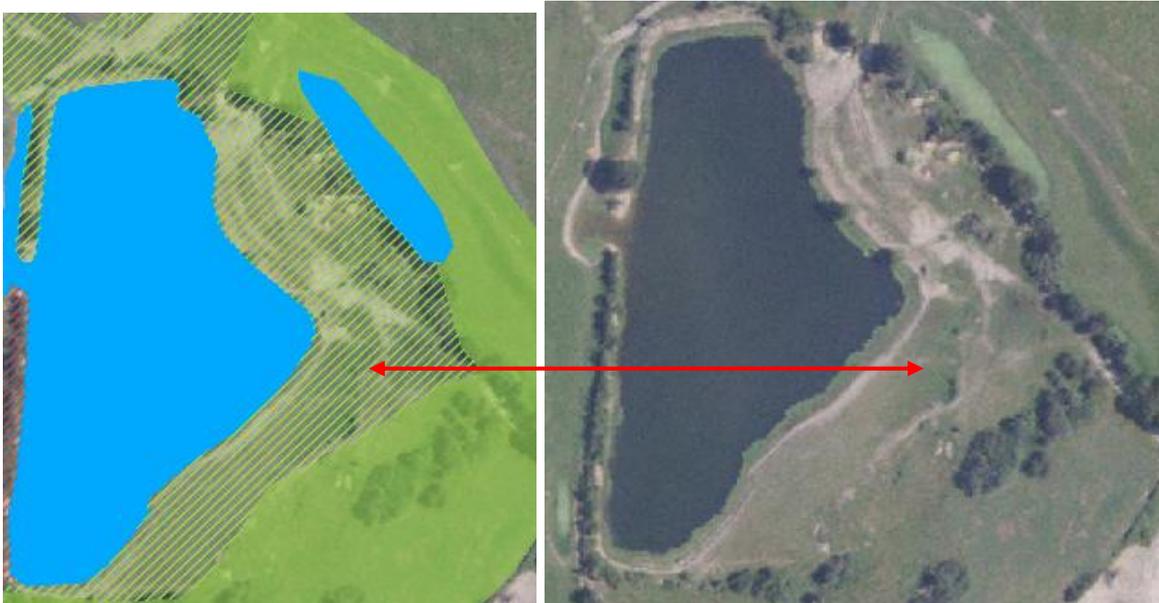


fig. 63) Cas de zones +/- entretenues au bord d'un plan d'eau



fig. 64) Cas de zone aménagée au bord d'un plan d'eau

Surface en herbe en zone d'extraction de matériaux (23)

Cette classe très peu représentée (16 polygones) correspond à des zones en herbe plus ou moins entretenues bordant les zones d'extraction de matériaux (carrières, gravières, sablières).



fig. 65) Cas d'une surface en herbe en zone d'extraction de matériaux

Surface en herbe en zone naturelle (24)

Cette classe correspond à des zones en herbe dans lesquelles des zones humides sont visibles par des taches sombres liées à des dépressions, des écoulements ou des paléo-écoulements. La délimitation ne suit pas la limite de la parcelle, mais bien la zone potentiellement humide.

Est considéré comme naturelle, toute parcelle dont rien n'indique une exploitation à but agricole et dans laquelle une opportuniste et hétérogène s'est installée. Il est possible que certaines parcelles soient « agricole », mais qu'au moment de la prise de vue, rien ne permette de l'affirmer.



fig. 66) Cas de zones en herbe très humides et présentant une végétation plutôt naturelle.



fig. 67) Cas de zones humides en herbe et présentant une végétation hétérogène et peu/pas entretenue ou exploitée.

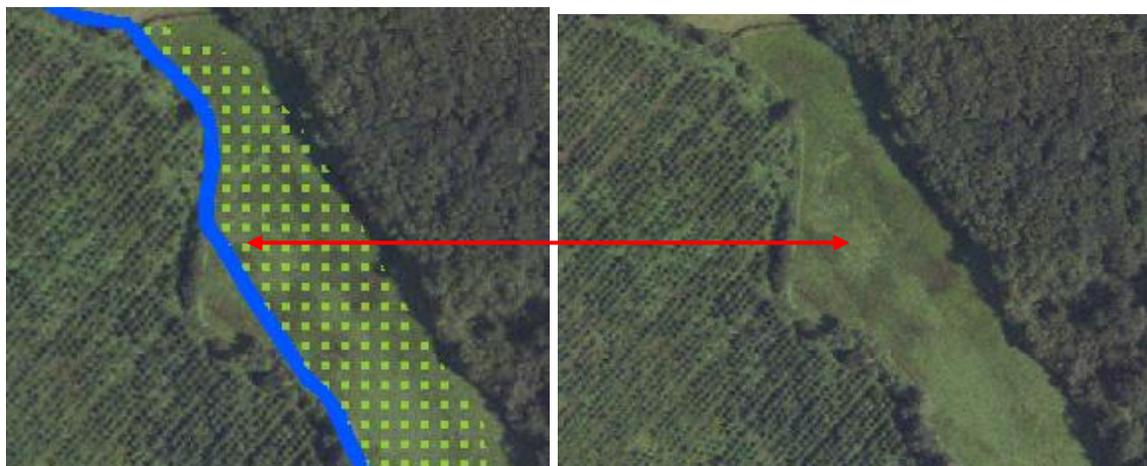


fig. 68) Cas de zones en herbe très humides peu/pas entretenues ou exploitées.

Surface inondée végétalisée en zone naturelle (34)

Cette classe correspond à des zones où l'eau réside une partie de l'année, mais sur lesquelles, la végétation est présente. Il s'agit principalement de zone de battement des eaux en fonction des niveaux d'eau de grands plans d'eau ou de zones le plus souvent inondées, comprises entre des cours d'eau.

La végétation y est du type roseaux, joncs, etc. que l'on retrouve dans les marais.

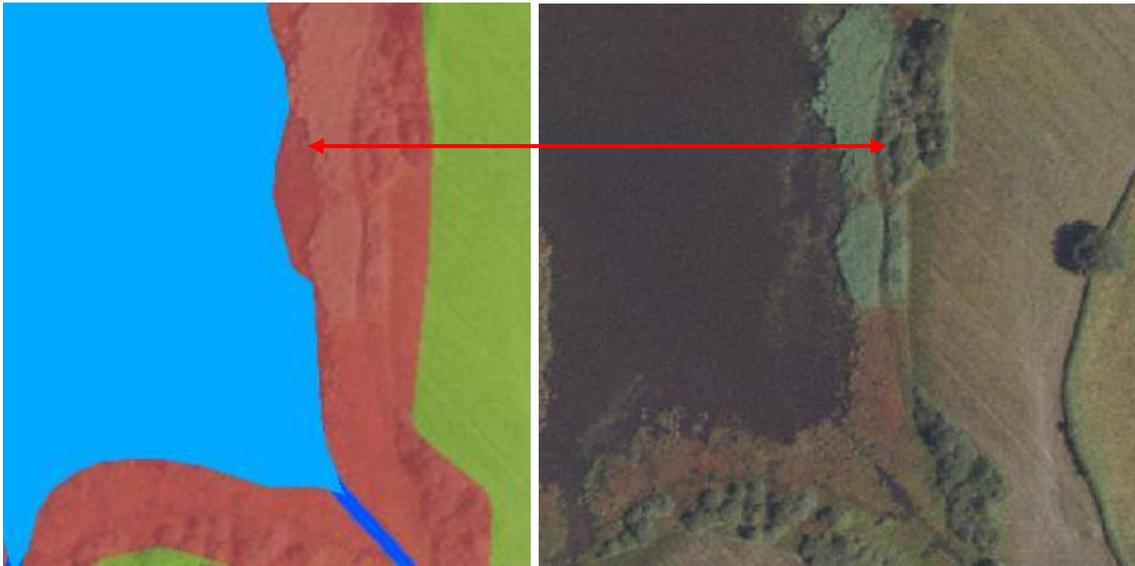


fig. 69) Cas de zone de battement des eaux d'un plan d'eau



fig. 70) Cas de zone de déversement de cours d'eau dans une dépression

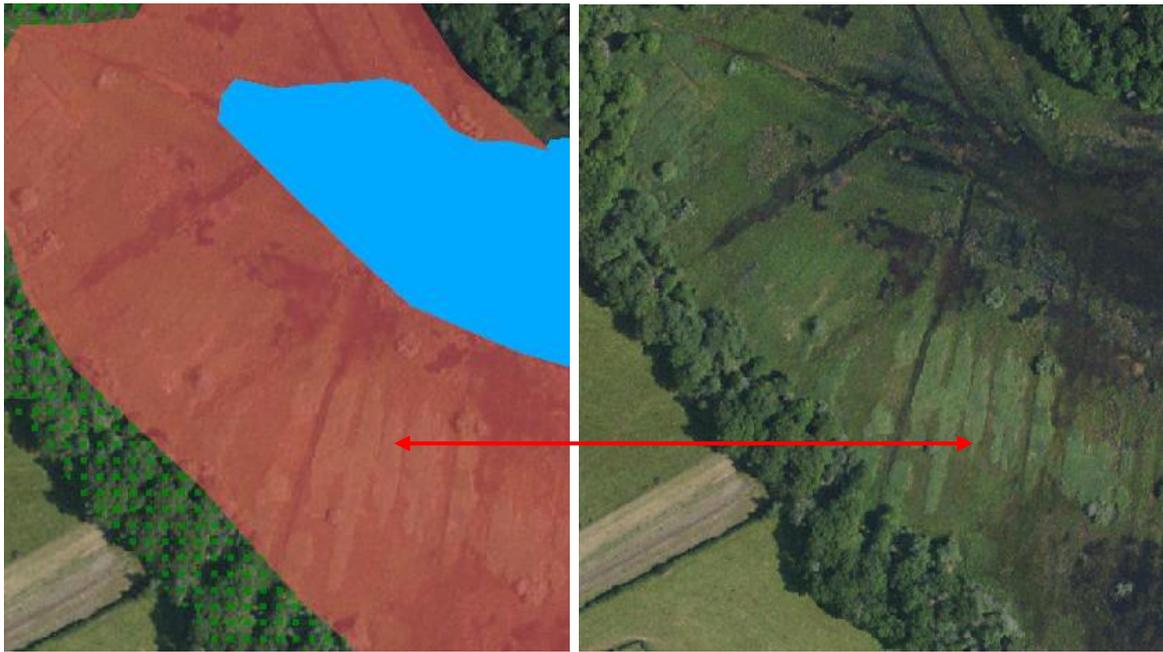


fig. 71) Cas de zone de battement des eaux d'un plan d'eau

Boisement organisé en zone aménagée (42)

Cette classe correspond essentiellement aux peupleraies. Y sont regroupées les jeunes peupleraies et les peupleraies matures. Elles se différencient par leur canopée souvent reconnaissable ainsi que leurs grandes ombres portées au sol.

Il est possible que certaines parcelles ne soient pas composées de peupliers, mais le plus souvent, il s'agit d'autres essences dont l'utilisation semble être liée à l'assèchement de la zone.



fig. 72) Cas d'une zone de plantation de peupliers

Boisement organisé en zone d'extraction de matériaux (43)

Cette classe très peu présente (2 zones) correspond à des zones de plantation situées à proximité de zones d'extraction de matériaux (carrières, gravières, sablières).



fig. 73) Cas de boisement organisé en zone d'extraction de matériaux

Milieu arboré en zone aménagée (52)

Cette classe assez peu présente correspond à des zones arborées résiduelles en milieu urbain ou aménagé. On trouve notamment dans cette classe presque toutes les îles de plans d'eau arborées.

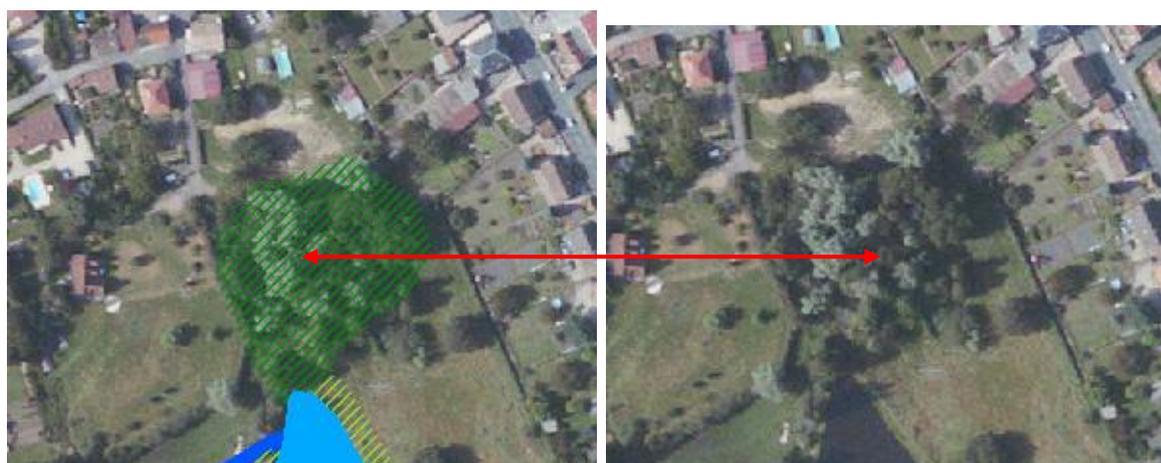


fig. 74) Cas d'une zone arborée en milieu urbain dont les espèces et la proximité d'un plan d'eau laissent supposer qu'elle est humide



fig. 75) Cas d'une zone arborée au milieu d'un plan d'eau

Milieu arboré en zone naturelle (54)

Cette classe correspond aux milieux forestiers. Il peut s'agir de zones humides en forêt ou en zone résiduelle (bosquet). Rien n'indique dans ces zones une plantation ou une exploitation. Les conifères sont exclus de cette classe. Généralement, les feuillages « blancs » ont été pris en compte, car ce sont des indicateurs d'essences hydrophiles, mais ce n'est pas systématique.

Les zones boisées humides sont difficiles à identifier et en dehors des inventaires, il est rare que cette classe ne soit pas cartographiée dans les zones en bordure ou traversées par un cours d'eau.



fig. 76) Cas d'une zone arborée traversée par un cours d'eau et dont les zones voisines montrent des signes d'humidité.



fig. 77) Cas d'une zone arborée traversée par des cours d'eau



fig. 78) Cas d'une zone arborée en bordure de cours d'eau et d'une autre zone humide

Milieu arbustif en zone aménagée (62)

Cette classe correspond aux zones arbustives issues de plantations dans un but d'aménagement et non d'exploitation ou de zones +/- naturelles qui recolonisent des plans d'eau aménagés. On trouve d'ailleurs beaucoup de ces zones sur les îles de plans d'eau.



fig. 79) Cas d'une zone arbustive autour d'un plan d'eau aménagé



fig. 80) Cas d'une zone arbustive au milieu d'un plan d'eau aménagé

Milieu arbustif en zone naturelle (64)

Cette classe correspond aux zones arbustives en milieux naturels. Il s'agit généralement de zones recolonisées par la forêt ou de zones où l'humidité ne permet pas l'installation d'arbre (en dehors d'espèces hydrophiles). Ces zones sont généralement en bordure de cours d'eau ou de mares.



fig. 81) Cas de zone arbustive en bordure de cours d'eau. On remarque également la différence de couleur de la végétation herbacée.

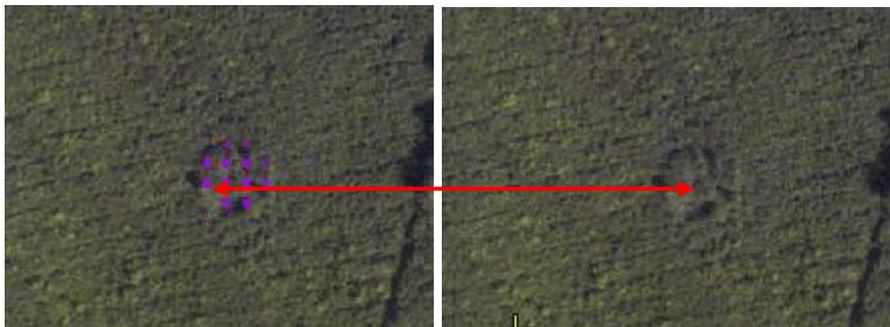


fig. 82) Cas de zone arbustive en bordure de mare dans une coupe forestière



fig. 83) Cas de zone arbustive comprise entre des cours d'eau.

Linéaire arboré en zone aménagée (72)

Cette classe correspond essentiellement aux linéaires arborés que l'on trouve en bordure de plans d'eau qu'ils soient semi-naturels ou artificiels. Cette classe a surtout été utilisée pour distinguer le linéaire arboré de bordure de plans d'eau de celui des cours d'eau qui est généralement naturel (sauf réseau de drainage).



fig. 84) Cas de linéaire situé au bord d'un plan d'eau.



fig. 85) Cas de linéaire situé au bord d'un plan d'eau.



fig. 86) Cas de linéaire situé au bord d'un plan d'eau.

Linéaire arboré en zone naturelle (74)

Cette classe correspond aux linéaires arborés que l'on trouve de part et d'autre des cours d'eau. Il s'agit en majorité de ripisylves, mais en l'absence de terrain, il est parfois difficile de l'affirmer. En effet, la couronne masquant le sol, il est possible qu'aucun cours d'eau ne soit présent en dessous.

Les linéaires formés d'une seule rangée d'arbres n'ont généralement pas été pris en compte. Même dans un contexte agricole, ces linéaires arborés sont considérés comme étant en zone naturelle malgré leur emprise limitée, ils correspondent à la partie naturelle préservée autour des cours d'eau.

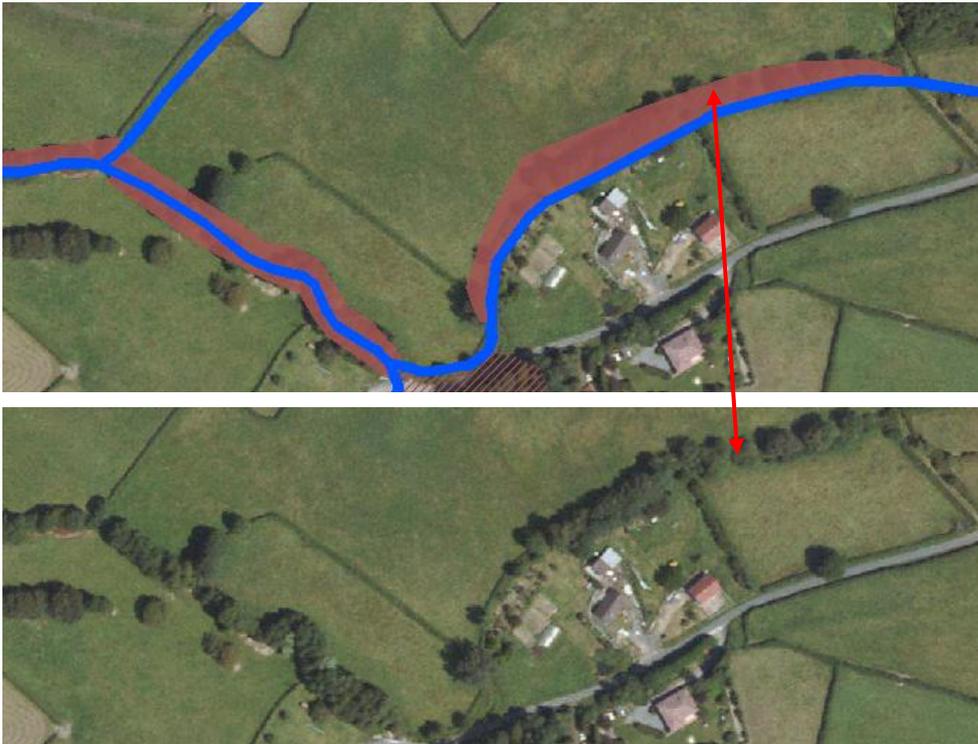


fig. 87) Cas de linéaire arboré situé au bord d'un cours d'eau typique d'une ripisylve



fig. 88) Cas de linéaire arboré situé au bord d'un cours d'eau.

3) Méthodologie de photo-interprétation

A) Méthodologie

La cartographie s'est effectuée de façon uniquement manuelle. Les images de références pour cette photo-interprétation sont les images RAPIDEYE. 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 visibles.
- 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.

B) 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 réseau 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. Les codes de confiance ont pour vocation de préciser (selon l'avis du photo-interprète en fonction de ce qu'il voit et des données exogènes à disposition) le degré de doute qu'il avait au moment de délimiter la zone. Il est rappelé que même les zones délimitées par PIAO restent du domaine de la probabilité et qu'il ne s'agit en aucun cas d'affirmer ou non qu'il s'agit d'une ZH.

- L'indice de confiance 1 est associé à toute zone dont l'interprétation est fiable (croisements de données entre la BD ORTHO et les différentes données à disposition). Ces zones sont souvent en contact avec le réseau hydrographique et présentent au moins deux de ces caractéristiques:
 - une végétation différente
 - des traces d'écoulements connectées au réseau
 - des traces radiométriques sombres (stagnation +/- temporaire d'eau)
 - un réseau de drainage
 - zone provenant d'un inventaire



fig. 89) Illustration de cas à l'indice de fiabilité 1

Concernant le degré de confiance des données du CBNBP, il a été affecté majoritairement 1. Parfois, le photo-interprète peut être amené à le descendre au niveau 2 s'il a un doute par rapport au contexte topographique par exemple, mais cela ne concerne que les zones arborées où il ne peut rien voir.

- L'indice de confiance 2 est attribué aux zones dont l'emprise, la localisation ou la terminologie ne sont pas certaines – interprétation moins fiable.
 - Zones en queue de réseau présentant une végétation différente, mais aussi des traces d'écoulements connectées au réseau
 - Zones en bordure de réseau présentant une végétation différente et une radiométrie plus sombre, mais pas réelle
Zones en bordure d'un réseau important présentant une végétation différente et des paléo-traces de réseau
 - Zones en bordure de réseau présentant des traces d'écoulements connectées au réseau et une radiométrie légèrement plus sombre

Il peut également s'agir d'une zone d'inventaire dont le photo-interprète n'a retrouvé aucune trace sur les photos aériennes ou images satellitales.



fig. 90) Illustration de cas à l'indice de fiabilité 2

- L'indice 3 est associé aux zones douteuses qui devraient être humides au regard de la situation topographique et géographique, mais peu visible à la photo-interprétation.
 - Zones isolées ou en queue de réseau présentant une végétation différente, mais peu significative
 - Zones en bordure d'un réseau important présentant une végétation légèrement différente, mais pas de traces radiométriques
 - Zones en queue de réseau présentant une végétation différente, mais aussi une accumulation possible liée à la structure (route, talus, haies)
 - Zones isolées présentant une végétation peu significative, mais aussi des traces radiométriques légères

D'une manière générale, peu de zones identifiées dans les parties agricoles ont un indice inférieur à 3, car la photo-interprétation est peu fiable sur les surfaces cultivées. Mais le photo-interprète peut être amené à avoir une information complémentaire comme l'indication de dépressions sur le Scan 25. Dans ce cas, l'indice de confiance peut passer à 2 puisqu'il y a à la fois un critère visible et un critère topo.



fig. 91) Illustration de cas à l'indice de fiabilité 3

- L'indice 4 est appliqué aux zones qui devraient être humides au regard de la situation historique (étangs de Cassini ou indiqués sur le Scan 25 qui ne sont plus présents actuellement).

Un indice 5 a été défini pour un cas particulier rencontré sur la zone. Il s'agit de deux zones : marais Durand et marais Brelet indiquées sur

le Scan25 en zone forestière. N'ayant la possibilité de confirmer cette information ni avec la BD Ortho ni avec les images satellitales, nous avons estimé les zones correspondantes en fonction des courbes de niveau et de différence de rugosité de la forêt sur les images. Ces zones sont donc identifiées et délimitées uniquement sur la base du Scan 25 sans avoir de certitude qu'elles existent réellement.

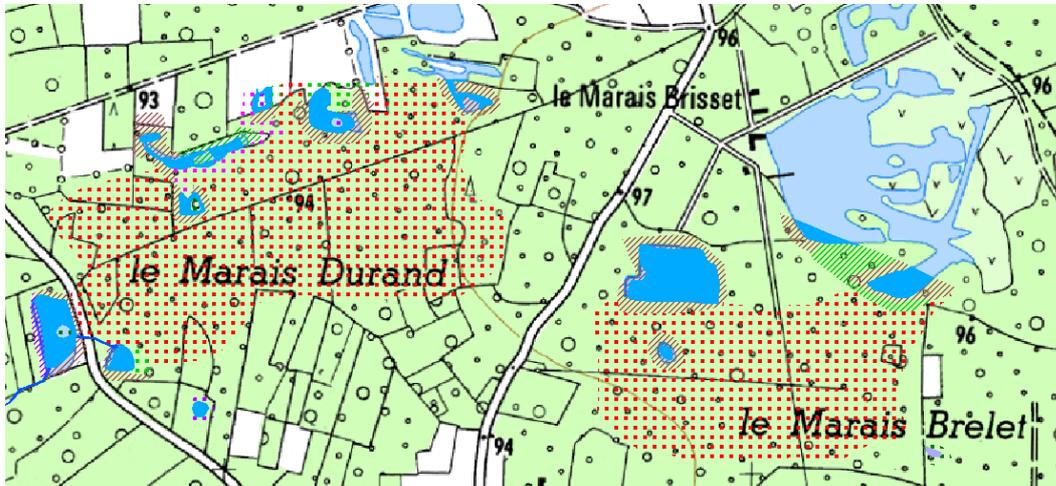


fig. 92) Illustration des deux polygones codés en indice 5 en fonction de l'information toponymique

Le tableau ci-dessous résume les différentes classes d'indice de confiance utilisés :

CONFIANCE	LB_CONFIANCE
0	Pas d'indice
1	Très bonne probabilité
2	Bonne probabilité - peu de doutes
3	Probabilité faible - doutes et info non recoupée
4	Donnée historique
5	Donnée toponymique

fig. 93) Labels correspondant aux indices de confiance

C) Intégration des éléments de Cassini

La couche historique de Cassini comprend des polygones qui correspondent à l'ancienne limite des étangs asséchés ou de plus larges emprises qu'actuellement. Elle a été directement intégrée durant la photo-interprétation en ajoutant les limites de l'ancien plan d'eau autour des éléments de zones humides photo-interprétés.

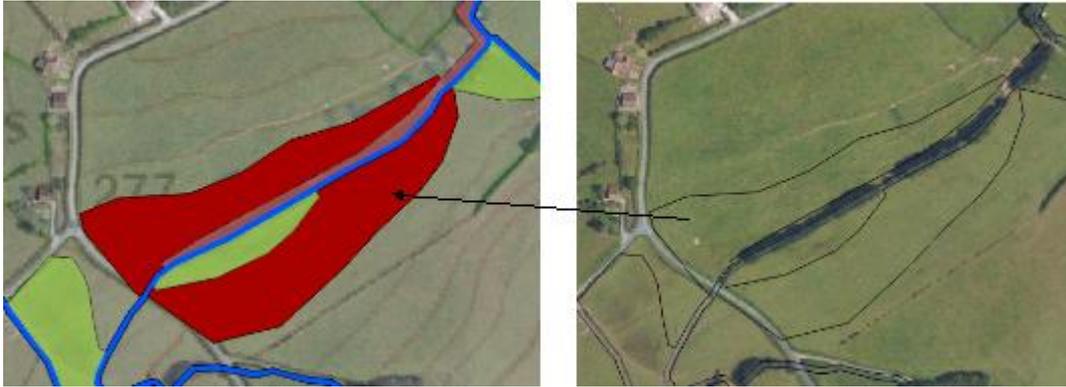


fig. 94) Illustration de l'intégration des étangs de Cassini (en rouge) dans la couche des zones humides.

La photo-interprétation se fait dans un premier temps pour délimiter les éventuelles zones humides visibles. Puis, l'ajout de la limite de l'étang complète les observations (cas 2 dans l'exemple ci-dessous). Elle se base sur les courbes de niveau et structures du Scan 25. Lorsque rien n'est visible sur la BD Ortho, l'étang est ajouté directement (cas 1 dans l'exemple ci-dessous).



fig. 95) Illustration des cas de figure d'intégration

5) Résultats de la photo-interprétation

L'ensemble des polygones interprétés en tant que zones humides avoisine les 7 082 objets. Ils se divisent en 13 classes. Au sein de ces classes, nous observons certaines différences de représentativité statistiques.

Leurs représentativités en % de surface ainsi qu'en % d'occurrences sont indiquées dans les tableaux suivants. Le premier tableau résume l'ensemble des zones humides et les autres présentent les résultats par indice de confiance. On remarque dans l'indice de confiance 2 une forte part des surfaces en herbe et dans l'indice de confiance 3 une forte part des surfaces cultivées alors que les autres classes présentent généralement moins de doutes.

TYP0	LB_TYPO	Polygones	Surface m ²	Surface ha	PCT SAGE	PCT Relatif
11	Surface cultivée humide en zone agricole	1533	62904756	6290.48	2.65%	32.71%
21	Surface humide en herbe en zone agricole	3531	45353219	4535.32	1.91%	23.58%
22	Surface humide en herbe en zone aménagée	1076	4915851	491.59	0.21%	2.56%
23	Surface humide en herbe en zone d'extraction de matéri	16	242334	24.23	0.01%	0.13%
24	Surface humide en herbe en zone naturelle	1448	7776945	777.69	0.33%	4.04%
34	Surface inondée végétalisée en zone naturelle	109	805340	80.53	0.03%	0.42%
42	Boisement organisé en zone aménagée	1894	23146212	2314.62	0.97%	12.03%
43	Boisement organisé en zone d'extraction de matériaux	2	6053	0.61	0.00%	0.00%
52	Milieu arboré humide en zone aménagée	24	186178	18.62	0.01%	0.10%
54	Milieu arboré humide en zone naturelle	1400	14729774	1472.98	0.62%	7.66%
62	Milieu arbustif humide en zone aménagée	339	1259210	125.92	0.05%	0.65%
63	Milieu arbustif humide en zone d'extraction de matériau	7	55551	5.56	0.00%	0.03%
64	Milieu arbustif humide en zone naturelle	1414	6616563	661.66	0.28%	3.44%
72	Linéaire arboré en zone aménagée	1426	6003141	600.31	0.25%	3.12%
74	Linéaire arboré en zone naturelle	3418	18326915	1832.69	0.77%	9.53%

Zones Humides Probables	17637	192328042	19232.80	8.09%
-------------------------	-------	-----------	----------	-------

fig. 96) Tableau des statistiques du travail de photo-interprétation par classe

CONFIANCE	LB_CONFIANCE	Polygones	Surface m ²	Surface ha	PCT SAGE	PCT Relatif
0	Pas d'indice	10878	2181347901	218134.79	91.79%	100.00%
1	Très bonne probabilité OU inventaires existants	10880	77500799	7750.0799	3.26%	33.59%
2	Bonne probabilité - peu de doutes	4040	39744510	3974.451	1.67%	17.22%
3	Probabilité faible - doutes et info non recoupée	2715	74660081	7466.0081	3.14%	32.36%
4	Donnée historique	192	2903238	290.3238	0.12%	0.11%
5	Donnée toponymique	2	422651	42.2651	0.02%	0.22%

fig. 97) Tableau des statistiques du travail de photo-interprétation par indice de fiabilité

TYP0	LB_TYPO	Polygones	Surface m ²	Surface ha	PCT SAGE	PCT Relatif
11	Surface cultivée humide en zone agricole	104	1642595	164.26	0.07%	0.85%
21	Surface humide en herbe en zone agricole	1241	15293566	1529.36	0.64%	7.95%
22	Surface humide en herbe en zone aménagée	415	1760502	176.05	0.07%	0.92%
23	Surface humide en herbe en zone d'extraction de matéri	6	108339	10.83	0.00%	0.06%
24	Surface humide en herbe en zone naturelle	1047	5181896	518.19	0.22%	2.69%
34	Surface inondée végétalisée en zone naturelle	107	781653	78.17	0.03%	0.41%
42	Boisement organisé en zone aménagée	1611	20648931	2064.89	0.87%	10.74%
43	Boisement organisé en zone d'extraction de matériaux	2	6053	0.61	0.00%	0.00%
52	Milieu arboré humide en zone aménagée	19	106543	10.65	0.00%	0.06%
54	Milieu arboré humide en zone naturelle	386	3568566	356.86	0.15%	1.86%
62	Milieu arbustif humide en zone aménagée	198	643383	64.34	0.03%	0.33%
63	Milieu arbustif humide en zone d'extraction de matériau	6	53938	5.39	0.00%	0.03%
64	Milieu arbustif humide en zone naturelle	926	3573049	357.30	0.15%	1.86%
72	Linéaire arboré en zone aménagée	1419	5976813	597.68	0.25%	3.11%
74	Linéaire arboré en zone naturelle	3393	18154971	1815.50	0.76%	9.44%

Zones Humides Probables - CONFIANCE 1	10880	77500799.41	7750.08	3.26%
---------------------------------------	-------	-------------	---------	-------

TYP0	LB_TYPO	Polygones	Surface m ²	Surface ha	PCT SAGE	PCT Relatif
11	Surface cultivée humide en zone agricole	309	6780361	678.04	0.29%	3.53%
21	Surface humide en herbe en zone agricole	1544	17831972	1783.20	0.75%	9.27%
22	Surface humide en herbe en zone aménagée	529	2466566	246.66	0.10%	1.28%
23	Surface humide en herbe en zone d'extraction de matéri	8	78887	7.89	0.00%	0.04%
24	Surface humide en herbe en zone naturelle	313	2056708	205.67	0.09%	1.07%
34	Surface inondée végétalisée en zone naturelle	1	9980	1.00	0.00%	0.01%
42	Boisement organisé en zone aménagée	223	1981278	198.13	0.08%	1.03%
43	Boisement organisé en zone d'extraction de matériaux	0	0	0.00	0.00%	0.00%
52	Milieu arboré humide en zone aménagée	5	79635	7.96	0.00%	0.04%
54	Milieu arboré humide en zone naturelle	627	5800855	580.09	0.24%	3.02%
62	Milieu arbustif humide en zone aménagée	117	481156	48.12	0.02%	0.25%
63	Milieu arbustif humide en zone d'extraction de matériau	1	1613	0.16	0.00%	0.00%
64	Milieu arbustif humide en zone naturelle	333	1983041	198.30	0.08%	1.03%
72	Linéaire arboré en zone aménagée	7	26328	2.63	0.00%	0.01%
74	Linéaire arboré en zone naturelle	23	166132	16.61	0.01%	0.09%

Zones Humides Probables - CONFIANCE 2	4040	39744510.26	3974.45	1.67%
---------------------------------------	------	-------------	---------	-------

TYP0	LB_TYPO	Polygones	Surface m ²	Surface ha	PCT SAGE	PCT Relatif
11	Surface cultivée humide en zone agricole	1120	54481800	5448.18	2.29%	28.33%
21	Surface humide en herbe en zone agricole	746	12227681	1222.77	0.51%	6.36%
22	Surface humide en herbe en zone aménagée	132	688783	68.88	0.03%	0.36%
23	Surface humide en herbe en zone d'extraction de matéri	2	55108	5.51	0.00%	0.03%
24	Surface humide en herbe en zone naturelle	88	538341	53.83	0.02%	0.28%
34	Surface inondée végétalisée en zone naturelle	1	13707	1.37	0.00%	0.01%
42	Boisement organisé en zone aménagée	60	516003	51.60	0.02%	0.27%
43	Boisement organisé en zone d'extraction de matériaux	0	0	0.00	0.00%	0.00%
52	Milieu arboré humide en zone aménagée	0	0	0.00	0.00%	0.00%
54	Milieu arboré humide en zone naturelle	385	4937702	493.77	0.21%	2.57%
62	Milieu arbustif humide en zone aménagée	24	134671	13.47	0.01%	0.07%
63	Milieu arbustif humide en zone d'extraction de matériau	0	0	0.00	0.00%	0.00%
64	Milieu arbustif humide en zone naturelle	155	1060473	106.05	0.04%	0.55%
72	Linéaire arboré en zone aménagée	0	0	0.00	0.00%	0.00%
74	Linéaire arboré en zone naturelle	2	5812	0.58	0.00%	0.00%

Zones Humides Probables - CONFIANCE 3	2715	74660081.06	7466.01	3.14%
---------------------------------------	------	-------------	---------	-------

Zones Humides Probables - CONFIANCE 5	2	422651	42.27	0.02%
---------------------------------------	---	--------	-------	-------

fig. 98) Tableaux des statistiques du travail de photo-interprétation par classe et par indice

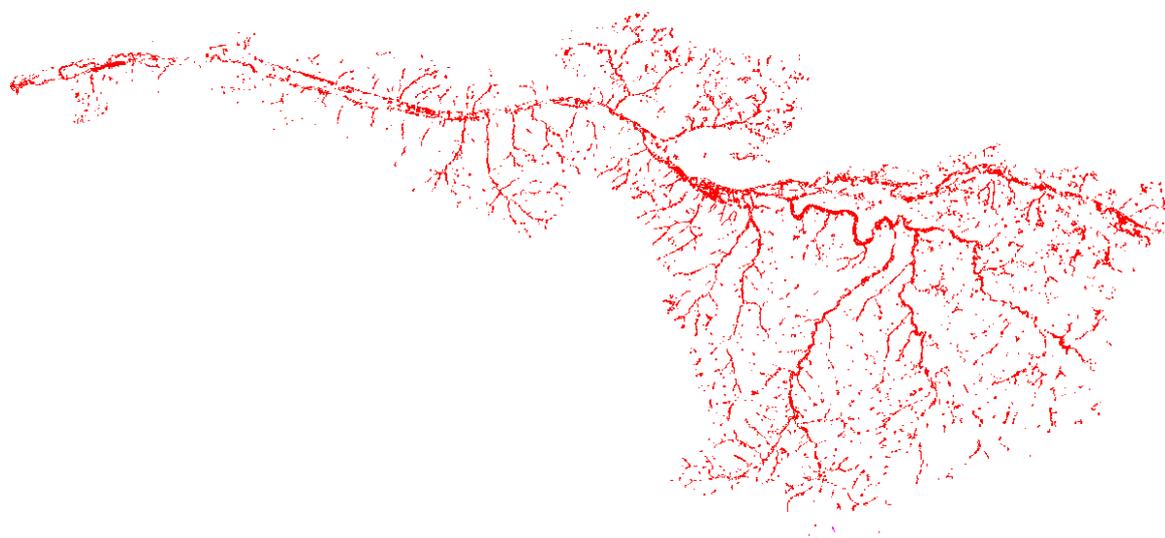


fig. 99) Représentation statistique du travail de photo-interprétation de l'indice 1

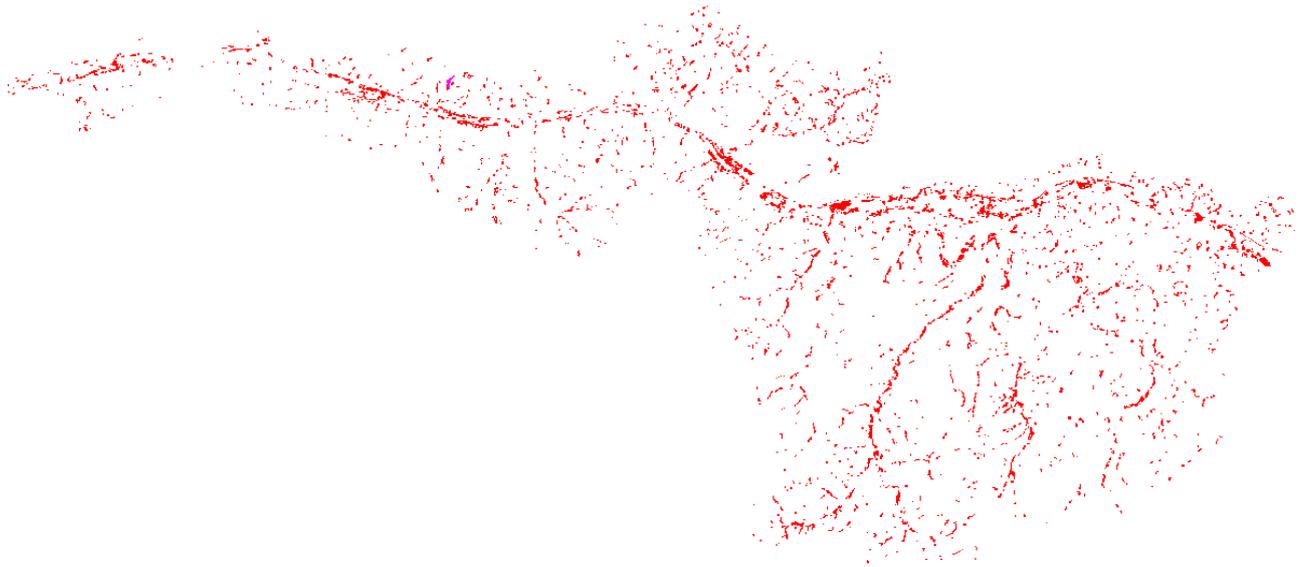


fig. 100) *Représentation statistique du travail de photo-interprétation de l'indice 2*

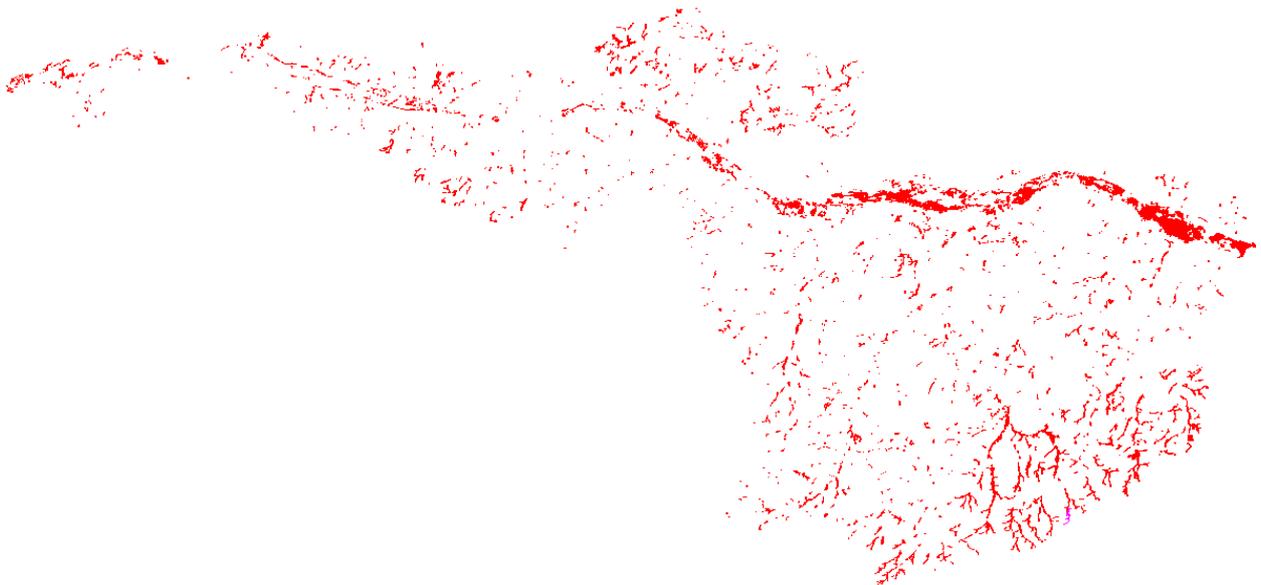


fig. 101) *Représentation statistique du travail de photo-interprétation de l'indice 3*

L'indice de confiance 5 est trop petit pour être représenté. Le cercle rouge indique sa position dans la carte ci-contre.



Dans la lecture de ces statistiques, il faut relativiser les résultats, car certaines zones sont fragmentées comme le montrent les illustrations ci-dessous.

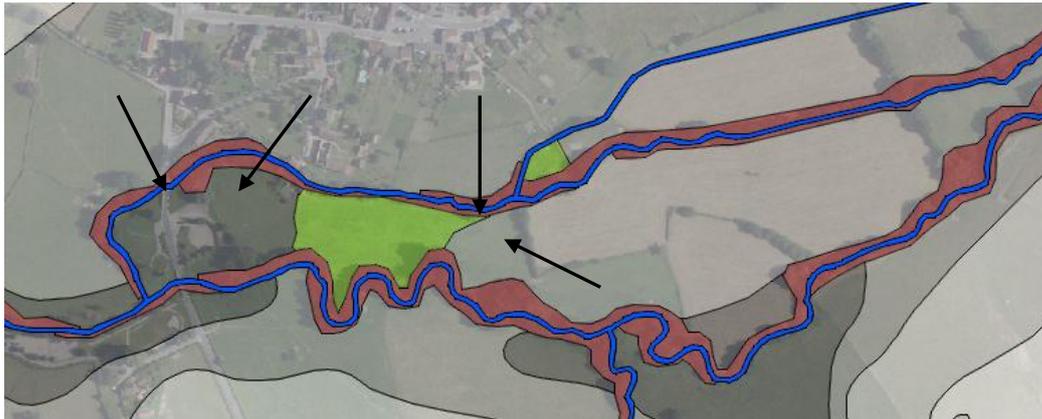


fig. 102) *Illustration de la fragmentation du linéaire arboré non continu de part et d'autre de la rive*

Les zones humides traversées par les cours d'eau présentent le même biais. Généralement, les surfaces en herbes (prairies) se retrouvent subdivisées et le nombre de polygones est moins représentatif que les surfaces.



fig. 103) *Illustration de la fragmentation des zones humides traversées par le réseau*

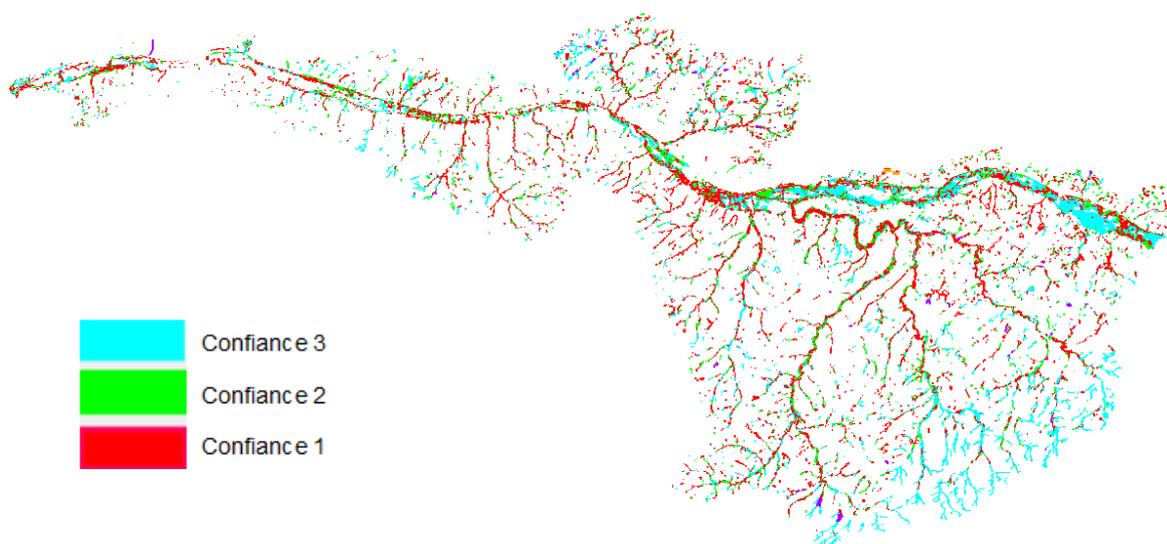


fig. 104) *Répartition des zones humides par indice de fiabilité*

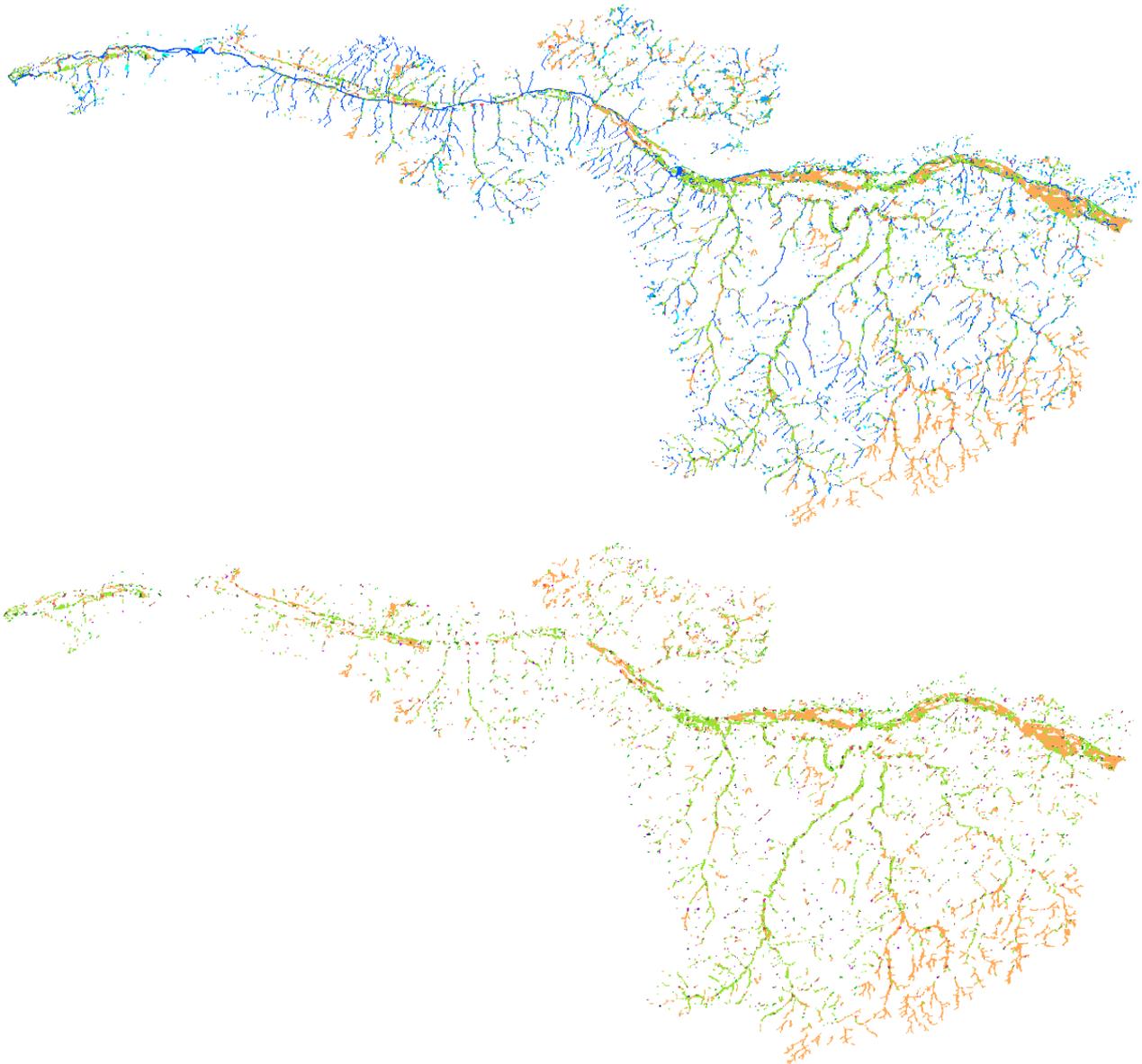


fig. 105) Répartition des zones humides avec les cours et plans d'eau (en haut) et seules (en bas).

V) 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 fusionnés avec l'IBK. Puis le regroupement des « inventaires » collectés et 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 :

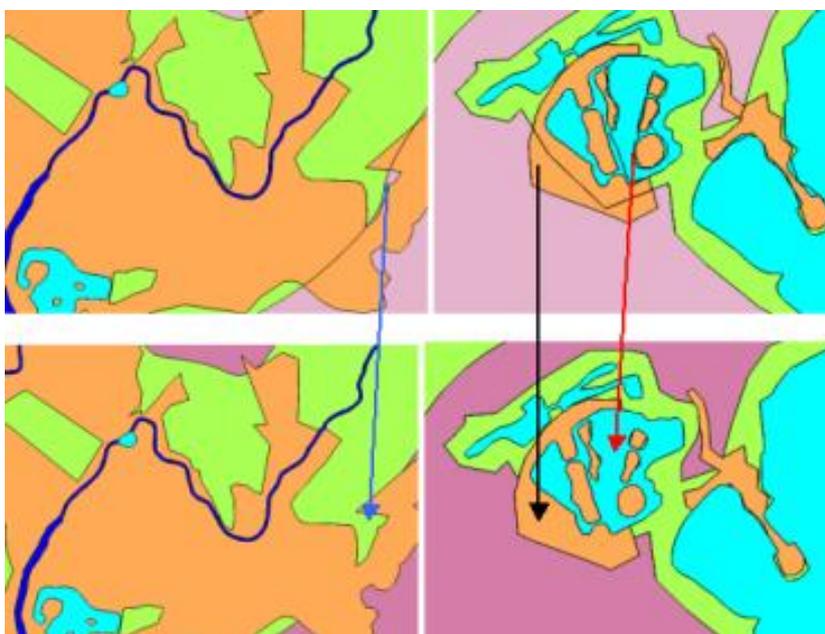


fig. 106) *Illustration du type de traitements à réaliser sur les couches plans d'eau + « buffer » et inventaires fusionnés*

- **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.

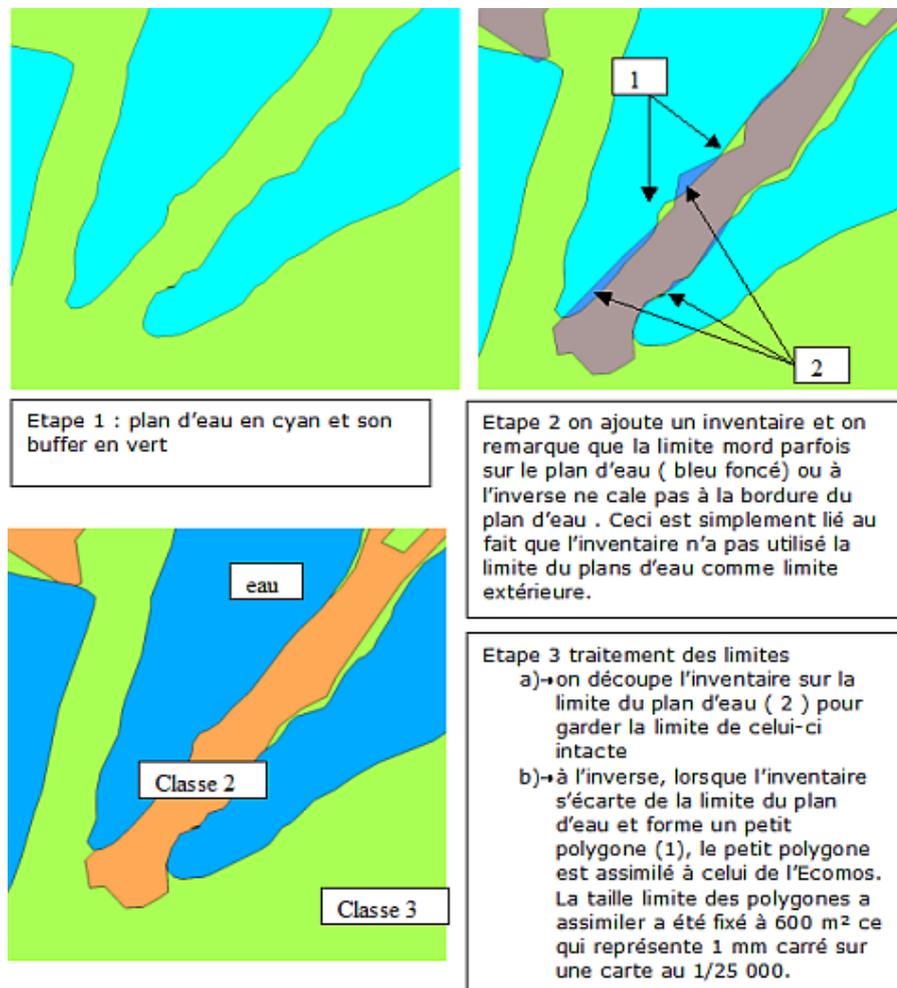


fig. 107) Illustration du type de traitements à réaliser pour éliminer les micro-polygones

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 simplifié pour le rendre cohérent et exploitable.

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

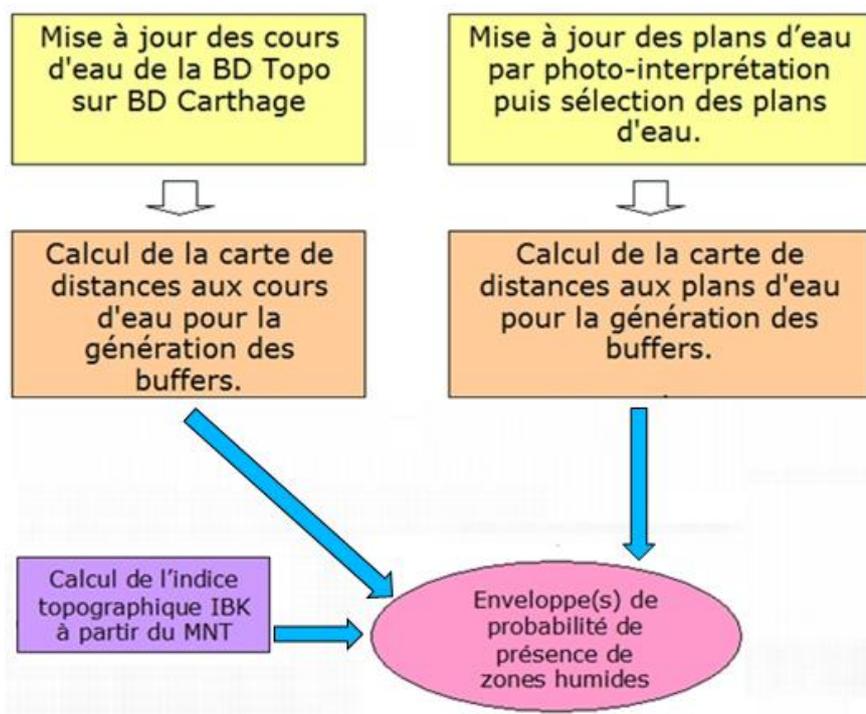


fig. 108) Schéma de la combinaison des couches IBK et Buffer Hydrographique

La couche "plan d'eau" intègre tous les plans d'eau nécessaires à l'étude.



fig. 109) Illustration de la couche "plan d'eau" intègre 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.

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.

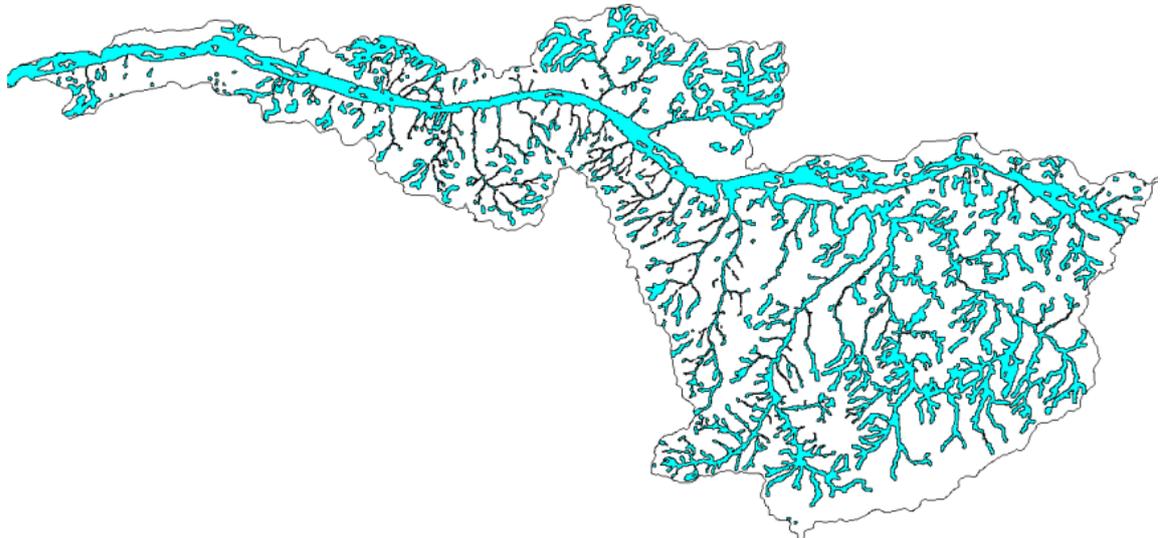


fig. 110) *Illustration de la couche buffer plan d'eau*

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.

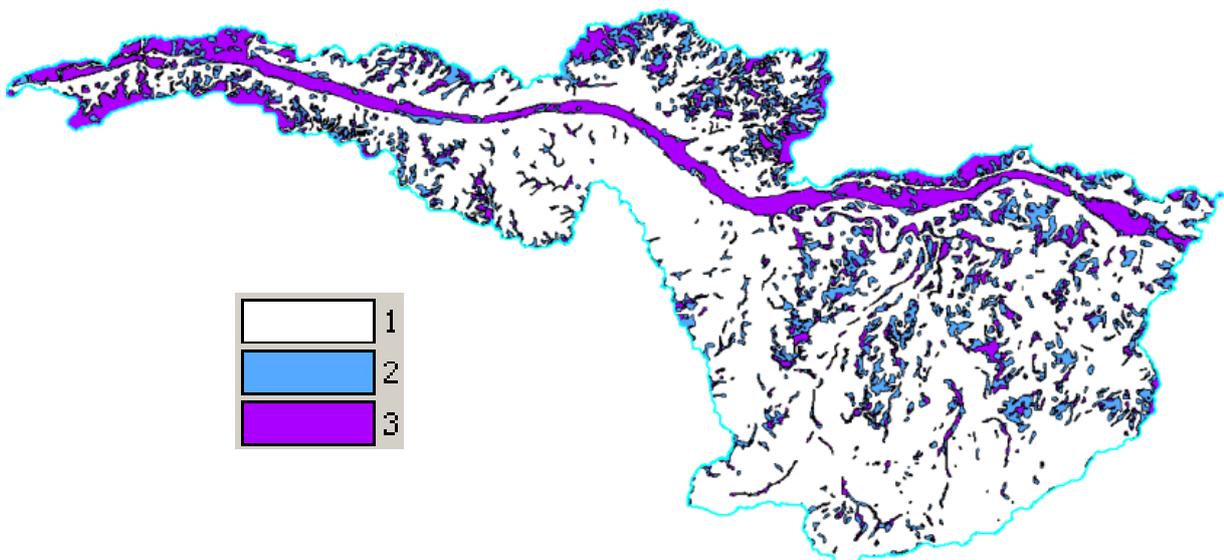


fig. 111) *Illustration de la couche IBK*

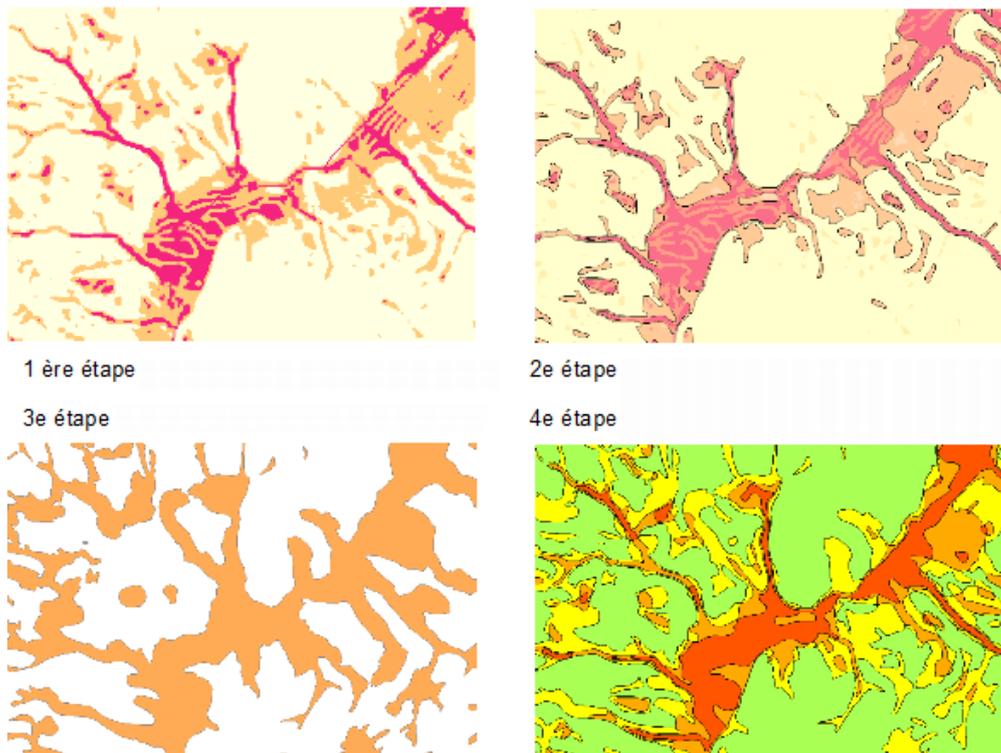


fig. 112) Étapes des traitements sur la couche IBK

1 ère étape : seuillage de l'IBK et différenciation des classes fortes et moyennes

2e étape : nettoyage des artefacts

3e étape : intégration du buffer réseau hydrographique

4e étape : création des enveloppes de probabilités

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.

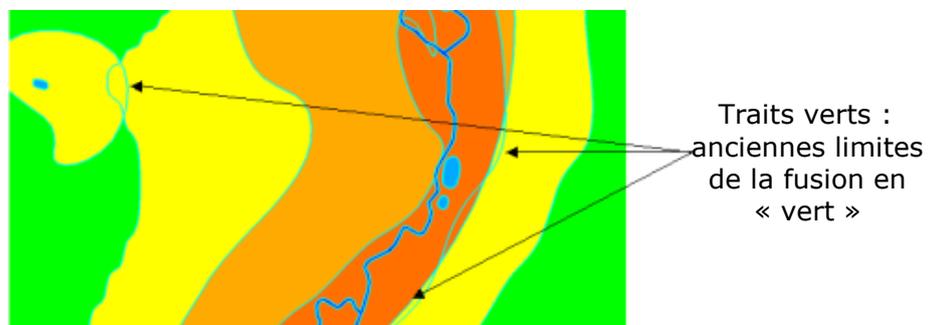


fig. 113) Illustration du résultat du traitement d'élimination des petits polygones.

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

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

fig. 114) *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. 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.

A ces quatre niveaux (de 0 à 3) est ajouté un niveau 4 correspondant aux sols retenus de la carte pédologique qui sont prioritaires sur les 4 autres niveaux.

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.

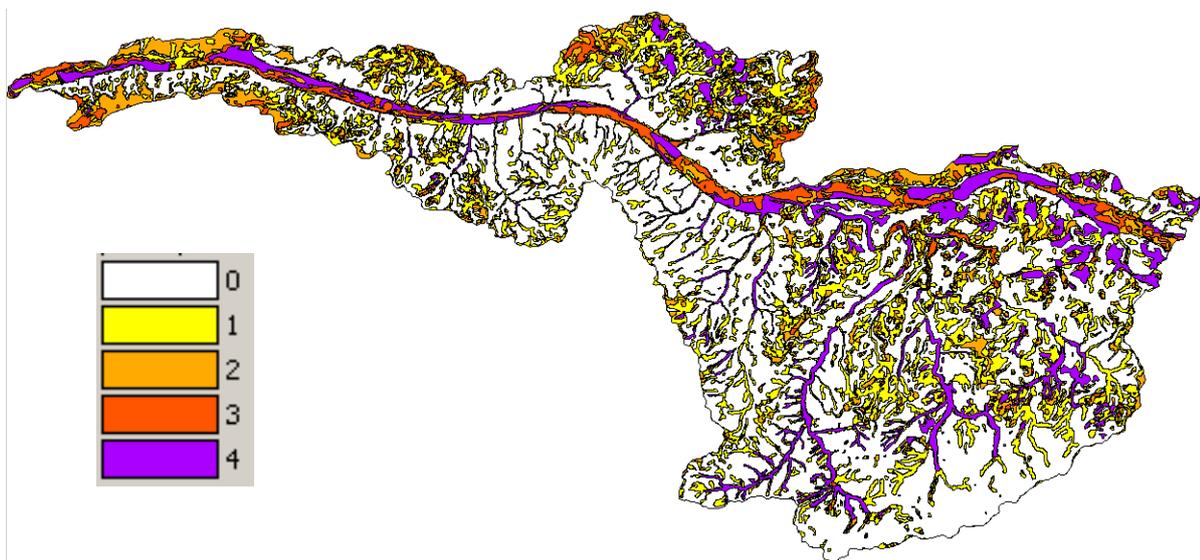


fig. 115) *Illustration du résultat de la fusion*

Ensuite, les éléments de Cassini étant basés 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.

CODE TYPO	CONFIANCE	PROBABILITE	LB_TYPOLOGIE	DIAGNOSTIC
100	1	Très forte - Observation	Cours d'eau	PIAO
99	1	Très forte - Observation	Plan d'eau (semi) naturel	PIAO
98	1	Très forte - Observation	Plan d'eau de carrière/gravière	PIAO
97	1	Très forte - Observation	Mare	PIAO
95	1	Très forte - Observation	Plan d'eau artificiel	PIAO
90	1	Très forte - Observation	Sédiments sur berge	PIAO
80	4	Forte - Analyse historique	Ancien plan d'eau (Cassini & Scan 25)	CARTE CASSINI ou SCAN 25
85	4	Forte - Analyse historique	Ancien cours d'eau (Cassini & Scan 25)	CARTE CASSINI
4	0	Très forte - Pédologie	Enveloppe pédologique de très forte probabilité	CARTE PÉDOLOGIQUE
3	0	Forte - Calcul théorique	Enveloppe de probabilité (Fort)	COMBINAISON IBK + BUFFER EAU
2	0	Moyenne - Calcul théorique	Enveloppe de probabilité (Moyen)	COMBINAISON IBK + BUFFER EAU
1	0	Faible - Calcul théorique	Enveloppe de probabilité (Faible)	COMBINAISON IBK + BUFFER EAU
0	0	Nulle - Calcul théorique	Enveloppe de probabilité (Nulle)	COMBINAISON IBK + BUFFER EAU

fig. 116) *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 héritent d'un indice de confiance 4 (Zones humides « logiques » ou historiques).

3) Homogénéisation des couches d'interprétation et des produits calculés

A) 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 (données acteurs locaux) & PIAO (photo-interprétation) et enfin le zonage (IBK + Buffer). Les tables attributaires ont gardé l'héritage de chaque couche.

CODE	CONFIANCE	PROBABILITE	LB_TYPOLOGIE	DIAGNOSTIC
0	0	Nulle - Calcul théorique	Enveloppe de probabilité	COMBINAISON IBK + BUFFER EAU
1	0	Faible - Calcul théorique	Enveloppe de probabilité	COMBINAISON IBK + BUFFER EAU
2	0	Moyenne - Calcul théorique	Enveloppe de probabilité	COMBINAISON IBK + BUFFER EAU
3	0	Forte - Calcul théorique	Enveloppe de probabilité	COMBINAISON IBK + BUFFER EAU
4	0	Très forte - Pédologie	Enveloppe pédologique de très forte probabilité	CARTE PÉDOLOGIQUE
11	1 à 3	Très forte - Observation	Surface cultivée en zone agricole	PIAO
21	1 à 3	Très forte - Observation	Surface en herbe en zone agricole	PIAO
22	1 à 3	Très forte - Observation	Surface en herbe en zone semi naturelle - aménagée	PIAO
24	1 à 3	Très forte - Observation	Surface en herbe en zone naturelle	PIAO
34	1 à 3	Très forte - Observation	Surface inondée végétalisée en zone naturelle	PIAO
42	1 à 3	Très forte - Observation	Boisement organisé en zone aménagée (Peuplier)	PIAO
52	1 à 3	Très forte - Observation	Milieu arboré en zone aménagée	PIAO
54	1 à 3 ou 5	Très forte - Observation	Milieu arboré en zone naturelle	PIAO
62	1 à 3	Très forte - Observation	Milieu arbustif en zone aménagée	PIAO
64	1 à 3	Très forte - Observation	Milieu arbustif en zone naturelle	PIAO
72	1	Très forte - Observation	Linéaire arboré en zone aménagée (bords PE)	PIAO
74	1	Très forte - Observation	Linéaire arboré en zone naturelle (bords CE)	PIAO
80	4	Forte - Analyse historique	Anciens plans d'eau (Cassini & Scan 25)	CARTE CASSINI ou SCAN25
85	4	Forte - Analyse historique	Anciens cours d'eau (Cassini)	CARTE CASSINI
90	1	Très forte - Observation	Sédiments sur berge	PIAO
95	1	Très forte - Observation	Plan d'eau artificiel (non utilisé pour buffer)	PIAO
97	1	Très forte - Observation	Mare	PIAO
98	1	Très forte - Observation	Plan d'eau de carrière/gravière	PIAO
99	1	Très forte - Observation	Plan d'eau (semi) naturel	PIAO
100	1	Très forte - Observation	Cours d'eau	PIAO
101	1	Très forte - Observation	Canal	PIAO

fig. 117) Table résumant la nomenclature finale et les valeurs qu'il est possible de rencontrer dans les différents champs de la table attributaire

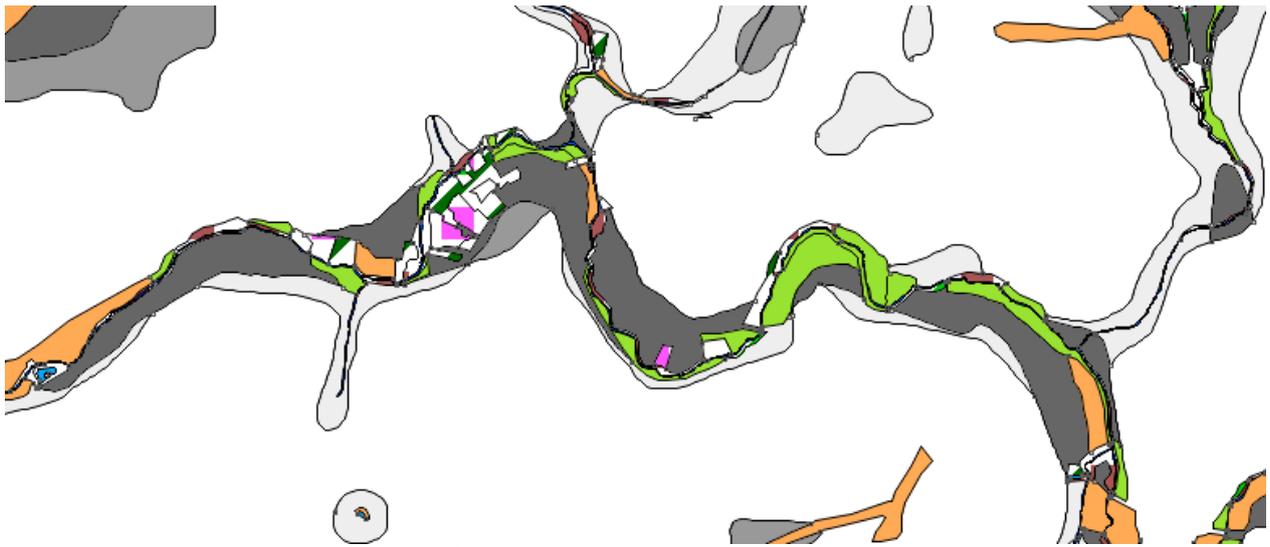


fig. 118) *Illustration du détail de la couche globale en restitution au 1/25 000*

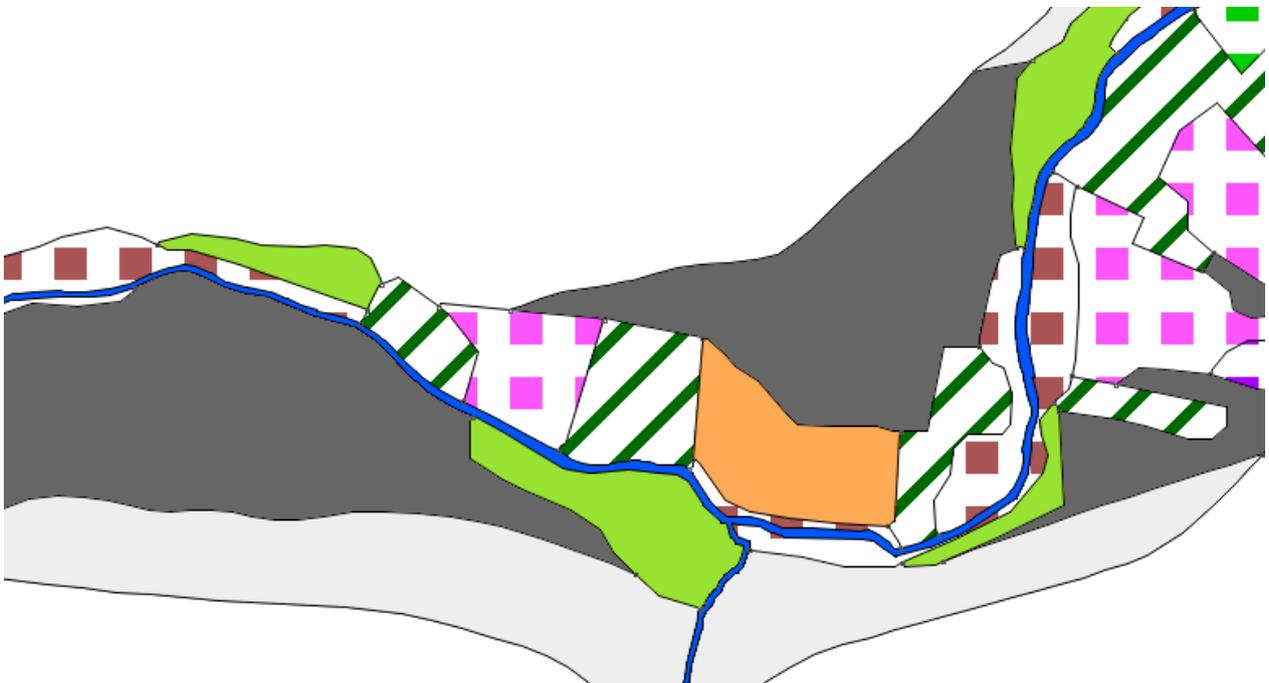


fig. 119) *Illustration du détail de la couche globale en restitution au 1/5 000*

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 des surfaces minimales et des priorités différentes entre toutes les classes en fonctions des polygones voisins.

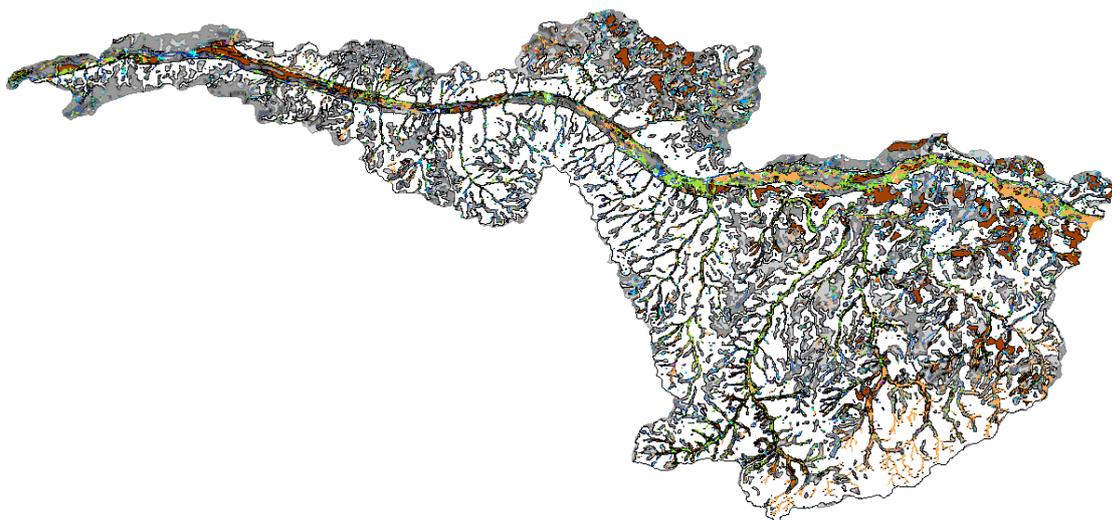


fig. 120) Illustration de la couche globale fusionnée

B) Bilan

TYPO	LB_TYPO	Polygones	Surface m ²	Surface ha	PCT SAGE	PCT Relatif
0	Enveloppe de probabilité (Nulle)	300	1255742876	125574.29	52.84%	62.62%
1	Enveloppe de probabilité (Faible)	2041	481917683.7	48191.77	20.28%	24.03%
2	Enveloppe de probabilité (Moyen)	1283	207876970.5	20787.70	8.75%	10.37%
3	Enveloppe de probabilité (Fort)	683	59679185.03	5967.92	2.51%	2.98%
4	Enveloppe pédologique de très forte probabilité	946	137713639	13771.36	5.79%	100.00%
11	Surface cultivée humide en zone agricole	1533	62904756	6290.48	2.65%	32.71%
21	Surface humide en herbe en zone agricole	3531	45353219	4535.32	1.91%	23.58%
22	Surface humide en herbe en zone aménagée	1076	4915851	491.59	0.21%	2.56%
23	Surface humide en herbe en zone d'extraction de matéri	16	242334	24.23	0.01%	0.13%
24	Surface humide en herbe en zone naturelle	1448	7776945	777.69	0.33%	4.04%
34	Surface inondée végétalisée en zone naturelle	109	805340	80.53	0.03%	0.42%
42	Boisement organisé en zone aménagée	1894	23146212	2314.62	0.97%	12.03%
43	Boisement organisé en zone d'extraction de matériaux	2	6053	0.61	0.00%	0.00%
52	Milieu arboré humide en zone aménagée	24	186178	18.62	0.01%	0.10%
54	Milieu arboré humide en zone naturelle	1400	14729774	1472.98	0.62%	7.66%
62	Milieu arbustif humide en zone aménagée	339	1259210	125.92	0.05%	0.65%
63	Milieu arbustif humide en zone d'extraction de matériau	7	55551	5.56	0.00%	0.03%
64	Milieu arbustif humide en zone naturelle	1414	6616563	661.66	0.28%	3.44%
72	Linéaire arboré en zone aménagée	1426	6003141	600.31	0.25%	3.12%
74	Linéaire arboré en zone naturelle	3418	18326915	1832.69	0.77%	9.53%
80	Anciens plans d'eau (Cassini & Scan 25)	191	2702848	270.28	0.11%	93.10%
85	Anciens cours d'eau (Cassini)	1	200390	20.04	0.01%	6.90%
90	Sédiments en bancs et sur berge	79	182578	18.26	0.01%	0.48%
95	Plan d'eau artificiel	723	2769632	276.96	0.12%	7.21%
97	Mare	720	137188	13.72	0.01%	0.36%
98	Plan d'eau d'activité d'extraction	19	270661	27.07	0.01%	0.70%
99	Plan d'eau (semi) naturel	3121	14019361	1401.94	0.59%	36.49%
100	Cours d'eau	959	20412521	2041.25	0.86%	53.13%
101	Canal	4	625606	62.56	0.03%	1.63%

ENVELOPPES	4307	2005216715	200521.67	84.37%
PEDO	946	137713639	13771.36	5.79%
Zones Humides Probables	17637	192328042	19232.80	8.09%
HISTORIQUE	192	2903238	290.32	0.12%
EAU	5625	38417547	3841.75	1.62%

SAGE	28707	2376579181	237657.92	100.00%
------	-------	------------	-----------	---------

(*) Attention, ce chiffre incorpore les zones classées en code confiance 5

(**) Attention, les cours d'eau sont probablement surestimés, car il s'agit d'un buffer

Dans le cadre de l'analyse des résultats, il faut noter que pour l'évaluation des surfaces intéressantes pour les inventaires, seules sont prises en compte les enveloppes ci-dessous :

TYPE D'ENVELOPPES	Surface m ²	Surface ha	PCT SAGE
Zones Humides Probables	192328042	192.33	8.09%
Enveloppes PEDOLOGIQUES	137713639	137.71	5.79%
Enveloppe de probabilité (Fort)	59679185.03	59.68	2.51%
Enveloppes HISTORIQUE	2903238	2.90	0.12%



TYPE DE ZONE	% surface sur le SAGE	
	Surface (Km ²)	%
Zones à très forte probabilité sur critère végétation et présence d'eau	192.33	8.09%
Enveloppes à très forte probabilité sur critère pédologique	137.71	5.79%
Enveloppes à forte probabilité sur critère historique et géomorphologique	62.58	2.63%
TOTAL	392.62	16.52%

fig. 121) Tableaux des pourcentages de surfaces de chaque classe par rapport à la superficie du SAGE

Il est rappelé que :

- **Les zones identifiées par photo-interprétation ET/OU par les inventaires existants** sont jugées fiables. Cependant, elles sont caractérisées par un indice de confiance de 1 à 5. La corrélation des indices de confiance 1 et 2 avec les observations de terrain est généralement bonne. En revanche, sur les indices 3 et 5, le nombre et la surface de zones qui s'avèreront être humides lors des inventaires peut n'être que de 50 %.
- **Les enveloppes pédologiques** sont assimilées à des zones de probabilité très forte. Elles sont issues de cartes simplifiées dont l'échelle peut induire des décalages et des imprécisions. De plus, il est rappelé que ces cartes sont des interpolations d'échantillonnages de terrain et il est possible que des secteurs ne correspondent pas aux sols cartographiés.
- **les enveloppes de probabilité forte** sont issues de calculs théoriques sur des critères géomorphologiques sans tenir compte de l'occupation du sol. Ces enveloppes sont donc surévaluées, car elles n'excluent pas les zones urbaines par exemple. Les données historiques du fait de la difficulté de repositionnement sont elles aussi considérées comme de probabilité forte et les surfaces correspondantes sont probablement légèrement surestimées du fait de la différence d'échelle des données d'origine.

Seul l'inventaire de terrain pourra confirmer ou non la présence de zones humides dans ces enveloppes et permettra d'en affiner le tracé.

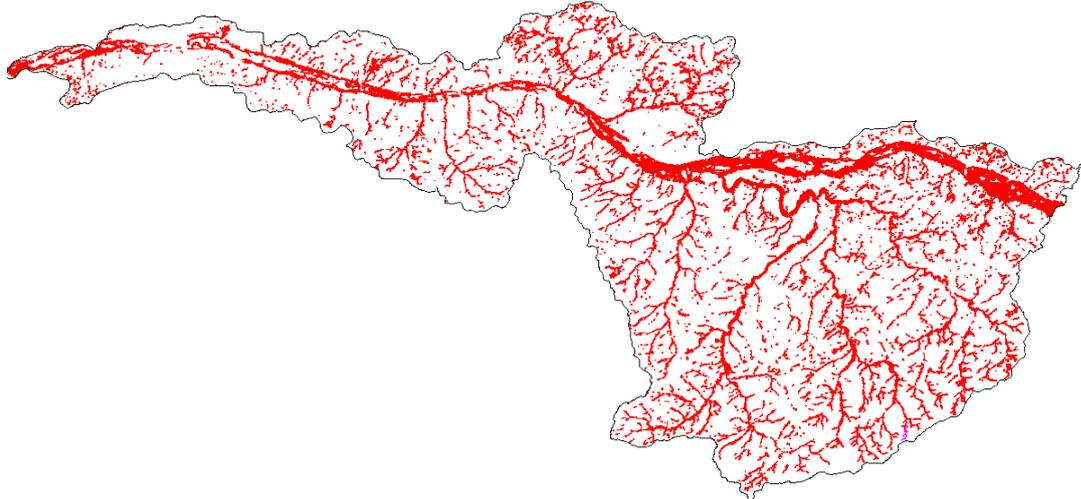


fig. 122) *Illustration de la couverture en zones humides probables photo-interprétées (très forte probabilité de présence).*



fig. 123) *Illustration de la couverture en zones humides probables issue de la carte pédologique (très forte probabilité de présence).*



fig. 124) *Illustration de la couverture des enveloppes à forte probabilité de présence de zones humides*

NOTE : une carte plus détaillée est fournie en ANNEXE 2

BIBLIOGRAPHIE

LOY D., 2012 – Rapport sur la prélocalisation des zones humides du SAGE Arroux-Bourbince, France

LOY D., et LEVEQUES P., 2011 – Rapport sur la prélocalisation des zones humides du SAGE Loir, France

LOY D., et LAVAL S., 2012 – Rapport sur la prélocalisation des zones humides du SAGE Nappe de Beauce, France

Sociétés Gallia Sana, I-Mage Consult, CERE & Agence de l'Eau Seine-Normandie – AESN - 2006 Cartographie des zones à dominante humide du bassin Seine – Normandie, France.

Agence de l'eau Loire-Bretagne, et HARDY X. – 2010 - Guide d'inventaire des zones humides dans le cadre de l'élaboration ou de la révision des Sage, France.

BERNARD C., et LAVAL S. - 2011 - Rapport sur la prélocalisation des zones humides du bassin versant de l'Allier aval, France

FROMONT N., DIREN Pays de la Loire – 2008 - Guide méthodologique d'inventaire et de caractérisation des zones humides, France.

I-Mage Consult – 2008 - Inventaire et caractérisation des zones à dominante humide du territoire de la Région limousin (partie du bassin Loire-Bretagne) et du SAGE Vienne, France.

GUERRI O., MOINOT F., et VERMEIL M. - Etablissement Public Territorial de Bassin de la Dordogne (EPIDOR) – 2008 - Guide des zones humides de la Dordogne Atlantique, France.

RAMEAU JC, BISSARDON M., GUIBAL L., Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts (ENGREF), G.I.P ATELIER TECHNIQUE DES ESPACES NATURELS, - CORINE BIOTOPES

CHABROL L., Conservatoire botanique national du Massif Central - 2006 - Inventaire et cartographie des zones humides du Limousin (Bilan des prospections 2002 à 2005), France.

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*, Télé-détection 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 Camargue, 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 télé-détection satellitaire radar, résultats obtenus dans le delta du Rhône (France), Bulletin de la Société Française de Photogrammétrie et de Télé-détection, 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, 1092p.

ANNEXE 1 : 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 rapport 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.

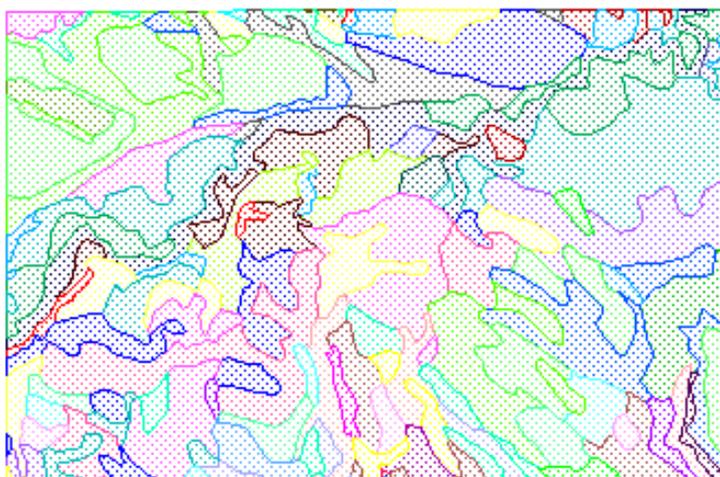


fig. 125) *Illustration d'exemple d'une topologie de type polygonal*

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

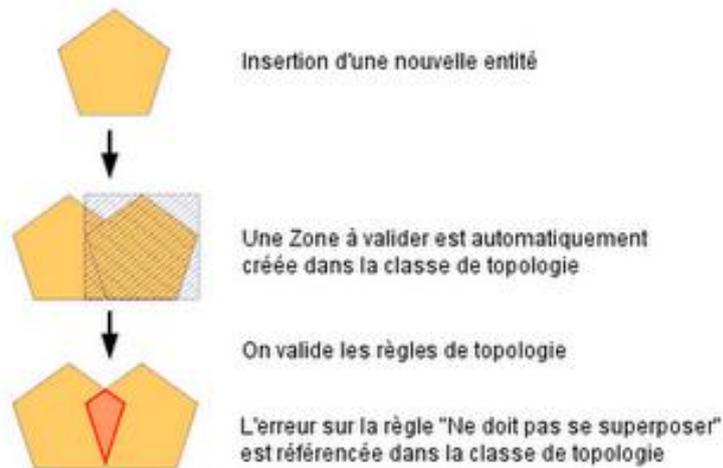


fig. 126) Schéma de correction topologique vectorielle

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 micro-polygones. 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" :

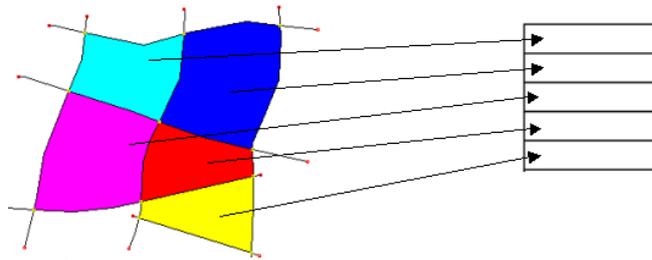


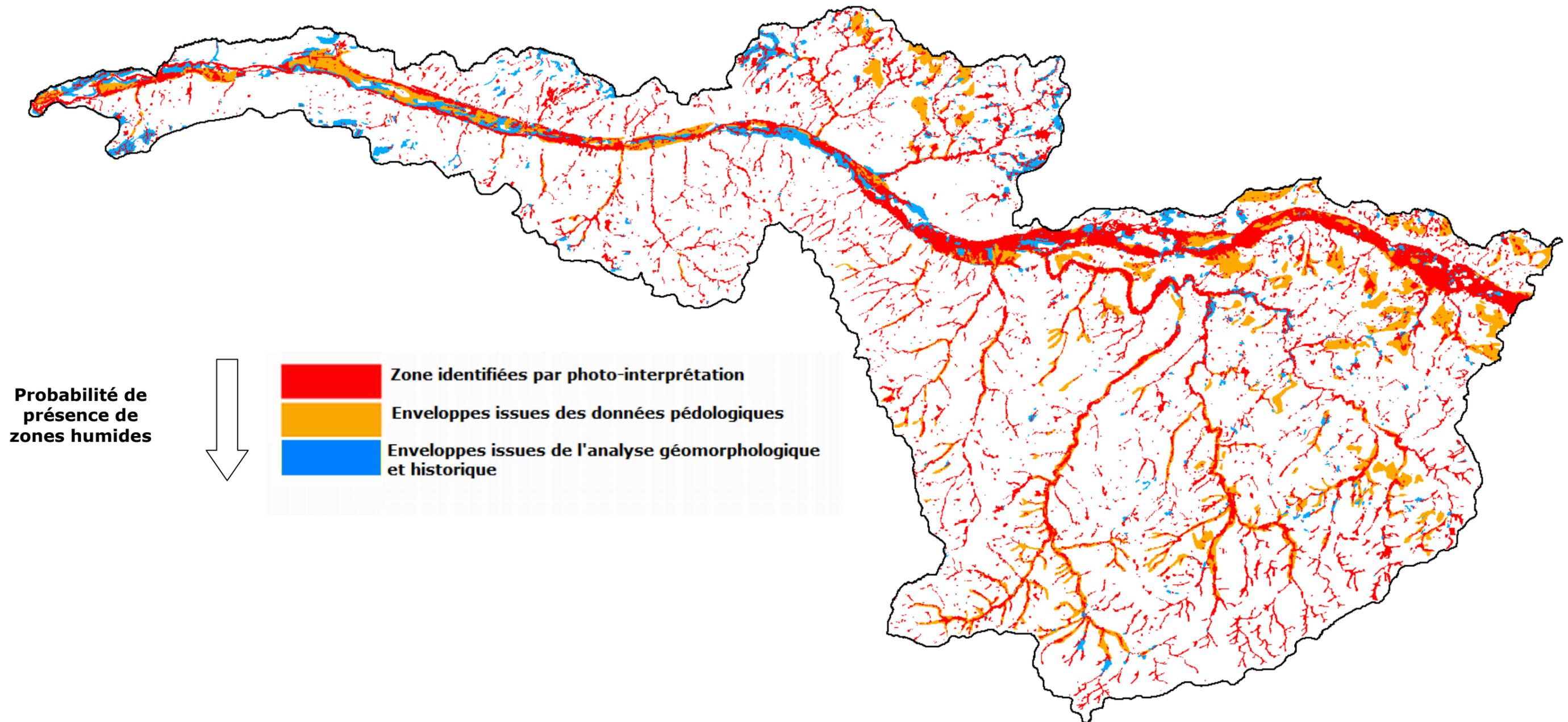
fig. 127) Schéma de la relation entre la table attributaire et les polygones de la couche vectorielle

- ❖ 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 2 :

Carte de synthèse des probabilités de présence de zones humides



Carte de détail des indices de confiances sur les zones identifiées par photo-interprétation

