



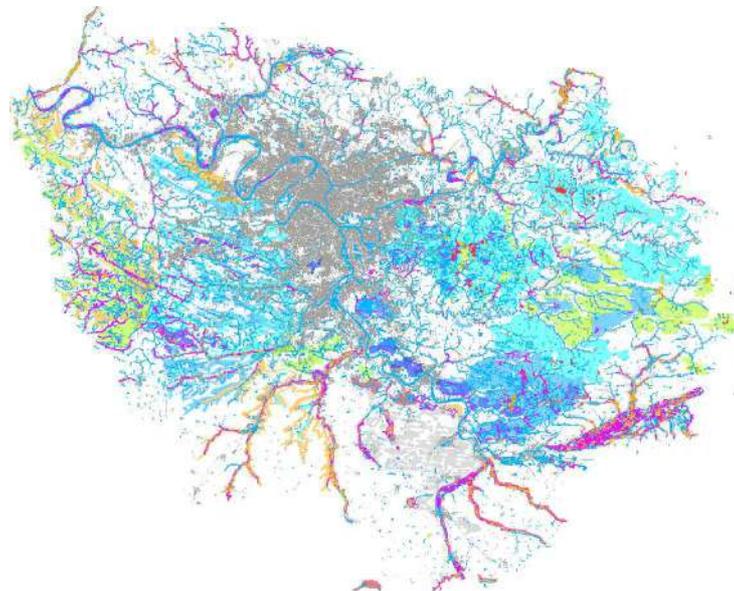
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

PREFECTURE DE LA REGION D'ILE-DE-FRANCE



RAPPORT FINAL

Identification et cartographie des enveloppes d'alerte potentiellement humides selon les critères de la loi développement des territoires ruraux à l'échelle de la région Ile-de-France



Juillet 2010

Bureaux d'étude

TTI Production
136, rue Guy Arnaud
F30900 Nîmes
Tél . +33(0) 466 212 025
Fax +33 (0) 466 647 957



La tour du Valat
Le Sambuc
F13200 Arles
Tél. +33 (0) 4 90 97 20 13
Fax +33 (0) 4 90 97 20 19



SOMMAIRE

A : SYNTHÈSE DES DONNÉES EXISTANTES	6
A.I TRAITEMENT PREALABLE DES DONNÉES	6
A.I.1 Géoréférencement.....	6
A.I.2 Traitement des données.....	6
A.II ANALYSE DES DONNÉES UTILISÉES	6
A.II.1. LES DONNÉES EXOGENES DE DELIMITATION A L'AIDE DE CRITERES VEGETATION.	7
<i>A.II.1.1. Inventaire du CBNBP - Conservatoire Botanique National du Bassin Parisien</i> ...	7
A.II.1.1.1. Descriptif	7
A.II.1.1.2. Sélection des zones humides	9
<i>A.II.1.2. Inventaire ECOMOS de L'IAURIF – Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la région Ile de France</i>	10
A.II.1.2.1. Descriptif	10
A.II.1.2.2. Sélection des zones humides	10
<i>A.II.1.3. Inventaire AESN – Agence de l'Eau Seine Normandie</i>	11
A.II.1.3.1. Descriptif	11
A.II.1.3.2. Sélection des zones humides	12
<i>A.II.1.4. Inventaire des boisements alluviaux de la DIREN</i>	13
A.II.1.4.1. Descriptif	13
A.II.1.4.2. Sélection des zones humides	14
<i>A.II.1.5. Inventaire des PNR – Parc Naturels Régionaux</i>	15
A.II.1.5.1. Descriptifs	15
A.II.1.5.2. Sélection des zones humides	15
<i>A.II.1.6. Autres données</i>	16
A.II.2 DONNÉES EXOGENES D'INVENTAIRE PEDOLOGIQUE	17
<i>A.II.2.1. Rappel du contexte réglementaire lié aux sols hydromorphes</i>	17
<i>A.II.2.2. Quelques notions de pédologie : Découpage géographique : Les Unités Cartographiques de Sols (UCS) et les Unités Typologiques de Sols (UTS) au sein des bases de données sols.</i>	18
A.II.2.2.1. Les Unités Cartographiques de Sol	18
A.II.2.2.2. Les Unités Typologiques de Sol	19
A.II.2.2.3. Représentation cartographique	19
<i>A.II.2.3. Données pédologiques au 250 k</i>	21
A.II.2.3.1. Descriptif	21
A.II.2.3.2. Sélection des zones humides	21
<i>A.II.2.4. Données pédologique au 1/100 000ème – Carte de Meaux</i>	22
A.II.2.4.1. Descriptif	22
A.II.2.4.2. Sélection des zones humides	22
<i>A.II.2.5 Données pédologiques au 1/ 50 000ème</i>	23
A.II.2.5.1. Descriptif	23
A.II.2.5.2. Sélection des zones humides	23
A.II.3 Données exogènes définies par d'autres critères	24
<i>A.II.3.1 Inventaires CASSINI</i>	24
A.II.3.1.1. Descriptif	24
A.II.3.1.2. Sélection des zones humides	24
<i>A.II.3.2 Inventaires de la toponymie</i>	25
<i>A.II.3.3. Les données géologiques</i>	27
A.II.4 Localisation des secteurs de présence potentielle de zones humides autour du réseau hydrographique.	30
<i>A.II.4.1 Secteurs de présence potentielle de zones humides autour du réseau hydrographique linéaire</i>	30
A.II.4.1.1. Objectif recherché	30
A.II.4.1.2. Informations à récupérer et données utilisées.	31
A.II.4.1.3. Méthodologie d'analyse des données et sélection des éléments pertinents	31

A.II.4.1.4 Les Pentes	38
A.II.4.1.5 Méthodologie de traitement des données pour créer l'enveloppe d'alerte .	41
A.II.4.2 Secteurs de présence potentielle de zones humides autour des Plans d'eau ...	44
A.II.4.2.1 Tri des informations	44
A.II.4.2.2. Analyse et traitement des données	51
A.II.4.3 Secteurs de présence potentielle de zones humides autour du réseau hydrographique linéaire	52

B. IDENTIFICATION DES SOLS POTENTIELLEMENT HYDROMORPHES A PARTIR IMAGES SATELLITALES 53

B.I LA TELEDETECTION SATELLITALE	53
B.I.1. Définition	54
B.I.2. Lois générales concernant le rayonnement	55
<i>B.I.2.1. Les différentes longueurs d'onde</i>	55
B.I.3. La luminance	56
B.I.4. Propriétés optiques des végétaux, de l'eau et du sol	57
<i>B.I.4.1. Propriétés selon le domaine spectral</i>	57
<i>B.I.4.2. Les facteurs modifiants les propriétés optiques des feuilles</i>	58
<i>B.I.4.3. Les surfaces en eau</i>	58
<i>B.I.4.4. Les sols</i>	59

B.II EVALUATION DE LA PERTINENCE DE L'UTILISATION DES IMAGES SATELLITALES SUR UNE ZONE TEST	60
B.II.1 Objectif recherché et localisation des zones test	60
<i>B.II.1.2 Localisation de la zone test</i>	60
B.II.2 Choix des images satellitaires	61
<i>B.II.2.1 Les images visibles et infrarouges</i>	62
. Les données AVNIR du satellite ALOS.....	63
. Les données ASTER du satellite EOS	63
. Les Données Thematic Mapper de Landsat	64
<i>B.II.2.2 Les images radars</i>	66
<i>B.II.2.2.1. Historique</i>	66
<i>B.II.2.2.2. Les apports des capteurs radars</i>	66
<i>B.II.2.2.3. L'humidité du sol</i>	67
<i>B.II.2.2.4. Les images Radar PALSAR du satellite Alos</i>	68
<i>B.II.2.3. Date d'acquisition des images acquises et pluviométrie - Analyse multi-temporelle</i>	70
Images LANDSAT	71
B.II.3. Les pré-traitements	72
<i>B.II.3.1 Géoréférencement et orthorectification</i>	72
<i>B.II.3.2 Les compositions colorées</i>	72
B.II.4 Méthodologie d'analyse des images satellitaires	72
<i>B.II.4.1 Calage préalable à l'analyse des images satellitaires</i>	72
<i>B.II.4.2. Analyses automatique des images satellitaires</i>	76
<i>B.II.4.2.1. L'ACP</i>	76
<i>B.II.4.2.2. Classifications</i>	77
<i>B.II.4.2.3. Les Indices</i>	79
B.II.5. VALIDATION DES PRE-TRAITEMENTS ET DES RESULTATS TERRAIN	80
<i>B.II.5.1. Confusions en zones agricoles</i> :	80
<i>B.II.5.2. Confusion en zones forestières</i>	81
<i>B.II.5.3. Recouvrements d'informations</i>	84
B.II.6 PHOTO-INTERPRETATION DES IMAGES SATELLITALES	87
<i>B.II.6.1 . Méthodologie de Photo-interprétation de la zone test et Résultat de la vectorisation</i>	87
<i>B.II.6.2 Apport des images Radar</i>	88
<i>B.II.6.3 Mise en parallèle avec les données exogènes</i>	91
<i>B.II.6.4 Limites de la photointerprétation</i>	91

C. CROISEMENT DES DONNEES, HIERARCHISATION ET CREATION D'ENVELOPPES D'ALERTE.....	93
C.1 GRILLE DE HIERARCHISATION	93
C.1.1 Classe 1.....	95
C.1.2 Classe 2.....	96
C.1.3 Classe 3.....	99
C.1.4 Classe 4.....	102
C.1.5 Classe 5.....	103
C.2 METHODOLOGIE DE CREATION D'ENVELOPPE	104
C.2.1 Priorisation des enveloppes d'alerte	105
C.2.2 Méthode d'assemblage des différentes enveloppes entre elles	106
<u>C.2.2.1 Etapes de réalisation des différentes couches :.....</u>	<u>106</u>
<u>C.2.2.2 Différents exemples de résultats de fusion</u>	<u>106</u>
<u>C.2.2.3 Descriptions précises des étapes de réalisation</u>	<u>110</u>
C2.3 Analyse des surfaces	111
C.3 MISE A JOUR DE L'OUTIL.....	112
D. DELIVRABLES	112
D.1. LES RAPPORTS	112
D.2. LES DONNEES SIG	112
D.2.1 Les données RASTER.....	113
D.2.2 Les données VECTEURS.....	113
D.2.3 Les données ATLAS	113

INTRODUCTION

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

La définition d'une zone humide figure dans l'article L 211-1 du code de l'environnement : « *on entend par zone humide les terrains, exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire ; la végétation, quand elle existe, y est dominée par des plantes hygrophiles pendant au moins une partie de l'année* ».

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

L'arrêté du 24 juin 2008, modifié par l'arrêté du 1^{er} octobre 2009, précise les critères de définition et de délimitation des zones humides. La circulaire DEV O 0813949C du 25 juin 2008 et DEV O 1000559 C expose les conditions de mise en oeuvre des dispositions de cet arrêté. Ces textes réglementaires encadrant la délimitation des zones humides sont disponibles en téléchargement sur le site de la DIREN.

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

La présente étude s'inscrit dans une démarche qui vise à asseoir la connaissance des secteurs de la région Ile-de-France présentant potentiellement des zones humides. Elle vise la réalisation d'une cartographie qui devra être validée par l'ensemble des acteurs régionaux afin de définir à terme une stratégie de préservation, de restauration et de gestion de ces espaces.

Cette démarche permettra de faciliter l'application de la police de l'eau en ciblant les secteurs où une attention particulière quant à la préservation des zones humides doit être observée dans les dossiers déposés au titre de la loi sur l'eau (rubrique 3.3.1.0). Elle permettra également d'améliorer les connaissances dans le cadre des réflexions sur la délimitation des zones humides d'intérêt environnemental particulier¹, l'élaboration de la trame verte et bleue ou pour les politiques de préservation de la nature (ENS, RNR, ...).

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. L'identification des sols potentiellement hydromorphes à partir des images satellitales et par conséquent l'analyse de l'apport de la télédétection dans la caractérisation des zones humides sera traitée dans une seconde partie. Suivra dans une troisième partie, le résultat de l'évaluation des données récoltées et leur hiérarchisation pour la constitution d'enveloppe d'alerte potentiellement humide. Les produits finaux de l'étude seront décrits dans une dernière partie.

¹ ZHIEP



A : 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 ces données a permis de définir des critères de hiérarchisation. Une quantification de ces critères reste néanmoins difficile étant donné les sources très hétérogènes de ces données. L'analyse de la pertinence du résultat de cette analyse a été principalement effectuée sur la zone test (la zone test décrite dans la partie B du présent rapport correspond aux bassins versants du Petit et Grand Morin ainsi que celui de l'Yerres).

A.I TRAITEMENT PREALABLE DES DONNÉES

A.I.1 Géoréférencement

Toutes les données fournies l'ont été sous un format récupérable sous Système d'Information Géographique, en majorité sous forme de vecteur. Pour l'analyse et la délimitation des enveloppes d'alerte potentiellement humides, toutes les données ont été intégrées et traitées sous S.I.G.. Elles ont été contrôlées par rapport à leur géoréférencement. L'analyse a montré qu'elles n'étaient pas toutes géoréférencées de la même manière. Ces données ont donc été homogénéisées afin qu'elles soient toutes dans le même système de géoréférencement à savoir la projection Lambert II Etendu ou Lambert II Carto.

Ce travail a été réalisé avec le logiciel TNT Mips de MicroImages. TNT Mips constitue un outil idéal pour produire et contrôler différentes couches vectorielles.

A.I.2 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.

Chacune des informations sélectionnées à partir de ces données constitue une couche ou masque d'information à part.

A.II ANALYSE DES DONNÉES UTILISÉES

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.

Les données exogènes analysées sont de trois types :

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

L'analyse de ces données a permis de définir des critères de hiérarchisation. Une quantification de ces critères reste néanmoins difficile étant donné les sources très hétérogènes de ces données. L'analyse de la pertinence du résultat de cette analyse a été principalement effectuée sur la zone test (la zone test décrite dans la partie B du présent rapport correspond aux bassins versants du Petit et Grand Morin ainsi que celui de l'Yerres).

A.II.1. LES DONNEES EXOGENES DE DELIMITATION A L'AIDE DE CRITERES VEGETATION

A.II.1.1. Inventaire du CBNBP - Conservatoire Botanique National du Bassin Parisien

A.II.1.1.1. Descriptif

Le Conservatoire Botanique National du Bassin Parisien (CBNBP) réalise sur l'ensemble de l'Ile de France, des diagnostics de végétation sur les parcelles de l'Ecomos. Ils ont ainsi réalisé des diagnostics sur le département 93 et une partie seulement du 77. D'autres diagnostics seront réalisés dans les années à venir sur le reste du département 77 et sur le département 78. Leur objectif à terme est de traiter toute l'Ile de France.

Les diagnostics ou inventaires réalisés par le CBNBP ont été effectués selon la typologie CORINE Biotopes. Les données fournies par le conservatoire ne concernent que la zone test.

Dans le cadre de la présente étude, le conservatoire Botanique a complété ses données en précisant si les habitats identifiés correspondent ou non à la notion d'« Habitat de zones humides selon l'arrêté du 24 juin 2008 ». Afin de permettre l'analyse des données du CBNBP à partir des critères définis dans l'arrêté du 24 juin 2008 modifié par l'arrêté du 1^{er} octobre 2009, le conservatoire a spécifié les critères « H » et « p » pour les habitats humides et a rajouté « non pris en compte » pour ceux considérés comme humides par le CBNBP et non par l'arrêté.

Extrait de l'arrêté du 24 juin 2008 précisant les critères de définition et de délimitation des zones humides en application des articles L. 214-7-1 et R. 211-108 du code de l'environnement :

« La mention d'un habitat coté « H » signifie que cet habitat, ainsi que, le cas échéant, tous les habitats de niveaux hiérarchiques inférieurs sont caractéristiques de zones humides. Dans certains cas, l'habitat d'un niveau hiérarchique donné ne peut pas être considéré comme systématiquement ou entièrement caractéristique de zones humides, soit parce que les habitats de niveaux inférieurs ne sont pas tous humides, soit parce qu'il n'existe pas de déclinaison typologique plus précise permettant de distinguer celles typiques de zones humides ». Ces habitats sont cotés « p » (pro parte) ». (Pour le code 37.7 il inclut 37.72 : Franges des bords boisés ombragés (p.) 37.715 : Ourlets riverains mixtes (H.). N'ayant les codes du niveau inférieur, nous avons choisi d'attribuer au code 37.7 le caractère H)

Typologie des zones humides selon le code CORINE Biotopes (CBNBP-Août 2009)		Remarques	Habitats de zones humides selon l'arrêté du 24 Juin 2008
Zones humides strictes (Habitats avec espèces hygrophiles)			
CORINE Biotopes	Habitats		
22.1	Eaux stagnantes sans végétation aquatique		Non pris en compte
22.3	Communautés amphibiennes		H
22.4	Eaux stagnantes avec végétation aquatique		H
22.5	Masses d'eau temporaires		Non pris en compte
24.1	Eaux courantes sans végétation aquatique		Non pris en compte
24.4	Eaux courantes avec ou sans végétation aquatique		Non pris en compte
31.1	Landes humides		H
37.1	Mégaphorbiaies		H
37.2	Prairies humides		H
37.3	Lisières humides		H
37.7	Lisières humides à grandes herbes		H
44.1	Saulaies blanches		H
44.3	Aulnaies-Frênaies alluviales		H
44.3*	Aulnaies-Frênaies alluviales - faciès à Saule blanc (fréquent) ou à Bouleau (rare)		H
44.4	Ormaies-Frênaies des grands fleuves		H
44.9	Aulnaies et saulaies marécageuses		H
51.2	Tourbières à Molinie bleue		H
53.1	Roselières		H
53.2	Carigaies		H
53.3	Roselières à <i>Cladium mariscus</i>		H
53.4	Végétations basses amphibiennes des bords de cours d'eau peu profonds et des suintements permanents		H
53.5	Jonchaies hautes		H
83.3211	Mégaphorbiaies sous plantations de Peupliers		H
Zones humides partielles (Habitats de transition avec des espèces mésohygrophiles)			
CORINE Biotopes	Habitats		
41.2	Chênaies pédonculées neutrophile à acidophile	Fond de vallée et vallon uniquement	p.
41.2*	Chênaies pédonculées avec faciès		p.
	Milieus neutrophiles: Frênaie, Erablaie Milieus acidiphiles: Boulaie-Chênaie, Boulaie, Tremblaie		p.
41.3	Frênaies		p.
41.4	Forêts de ravin à Frêne et Sycomore		p.
41.5	Chênaie pédonculée acidiphile à Molinie	p.	
41.5*	Boulaie-Chênaie, Boulaie, Tremblaie: faciès de la Chênaie pédonculée acidiphile à Molinie	p.	
41.B	Bois de Bouleaux humides	p.	
83.3212	Autres plantations de Peupliers	p.	
Zones humides très artificielles			
CORINE Biotopes	Habitats		
81.2	Prairies humides améliorées		H
82.42	Cressonnières		H
85.13	Bassins de Parcs		Non pris en compte
89	Lagunes et réservoirs artificiels		Non pris en compte

Le CBNBP a apporté également d'autres précisions sur ses données. Il a ainsi précisé la méthode d'observation. Ainsi les habitats ont été diagnostiqués de 2 manières :

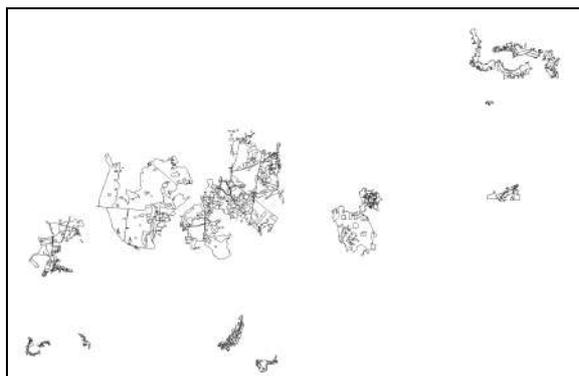
. Expertise "in-situ": la caractérisation de l'habitat s'effectue sur le terrain grâce à un relevé floristique ou une interprétation in-situ (pas de relevé de végétation mais habitat parcouru). La qualité de l'information est optimale.

. Expertise "ex-situ": la caractérisation de l'habitat s'effectue au bureau car le site est inaccessible ou le site est de grande taille mais très homogène. Dans le premier cas, l'observateur renseigne l'habitat à minima. Dans le second cas, l'observateur a analysé l'habitat antérieurement et considère que les habitats distants possèdent les mêmes conditions stationnelles (géomorphologie, géologie, pédologie, altimétrie, exposition, pente) et relèvent du même groupement. Les supports d'interprétation sont les photo-aériennes (1/5000), les cartes IGN-SCAN 25 (1/25000), les courbes altimétriques (1/25000) et les cartes géologiques (1/50000). La qualité de l'information est moins optimale que l'expertise "in-situ", mais reste malgré tout de qualité.

Les précisions apportées par le CBNBP sont fournies en Annexe 1.

A.II.1.1.2. Sélection des zones humides

La sélection des parcelles humides a été réalisée à partir de la table attributaire des fichiers vecteurs. Elle s'est effectuée uniquement à partir des codes CC1 en premier et CC2 lorsqu'il n'y avait pas de code dans le CC1 ².



Exemple de parcellaire des inventaires du CBNBP

Au final, par rapport à leur potentiel en zone humide et la pertinence et précision de chaque donnée trois types d'information ont été isolés :

- **CBNBP – HUMIDE STRICT – In situ** : les parcelles de zone humide « H » inventoriées *In situ* constituant l'information de référence en terme de fiabilité par rapport au critère floristique de l'arrêté du 24 juin 2008
- **CBNBP – HUMIDE STRICT – Ex situ** : les parcelles de zone humide « H » inventoriées *Ex situ* : ces données bien que classées comme « H » l'ont été par inventaire *Ex situ* et sont donc un peu moins fiables en comparaison avec le groupe de parcelles précédant mais restent de qualité

² Pour le code 37.7 il inclut 37.72 : Franges des bords boisés ombragés (p.) 37.715 : Ourlets riverains mixtes (H.). N'ayant les codes du niveau inférieur, nous avons choisi d'attribuer au code 37.7 le caractère H

- **CBNBP – HUMIDE TRANSITOIRE – In situ et Ex situ** : les parcelles de zone humide partielle « p » *In situ* et *Ex situ* qui sont des habitats de transition, pour lesquels la présence de zones humides est possible mais pas certaine. L'information reste donc à vérifier

Trois couches d'informations correspondant à ces trois types d'informations ont ainsi été créées. Pour les inventaires effectués en 2006 et 2007, toutes les informations étaient disponibles sous forme polygonale. Par contre, pour les données d'inventaire de 2008 et 2009, la vectorisation sous forme de polygones était en cours à la date de l'étude. Ainsi, certaines données uniquement sous forme de point n'ont pas été prises en compte dans la sélection des données. Par contre, les polygones entourant certains points d'inventaire ont été extraites, transformées en polygones et considérées dans l'analyse des données

Distribution spatiale des trois types de formation du CBNBP



HUMIDE STRICT – In situ

HUMIDE STRICT – Ex situ

HUMIDE TRANSITOIRE – In situ et Ex situ

A.II.1.2. Inventaire ECOMOS de L'IAURIF – Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la région Ile de France

A.II.1.2.1. Descriptif

Ces données sont issues d'une ré-interprétation des postes « Naturels » du MOS à partir de photographies aériennes acquises entre 1999 et 2000 et d'images Landsat pour une échelle de restitution au 1/ 25 000. Les métadonnées plus précises sont conférées dans le tableau de synthèse en Annexe 2 .

A.II.1.2.2. Sélection des zones humides

En fonction des descriptifs des 4 niveaux de classification à notre disposition (CLC3/CLC4/CLC5/CLC6), deux regroupements ont été choisis en fonction du caractère humide mentionné dans les intitulés des classes d'ECOMOS:

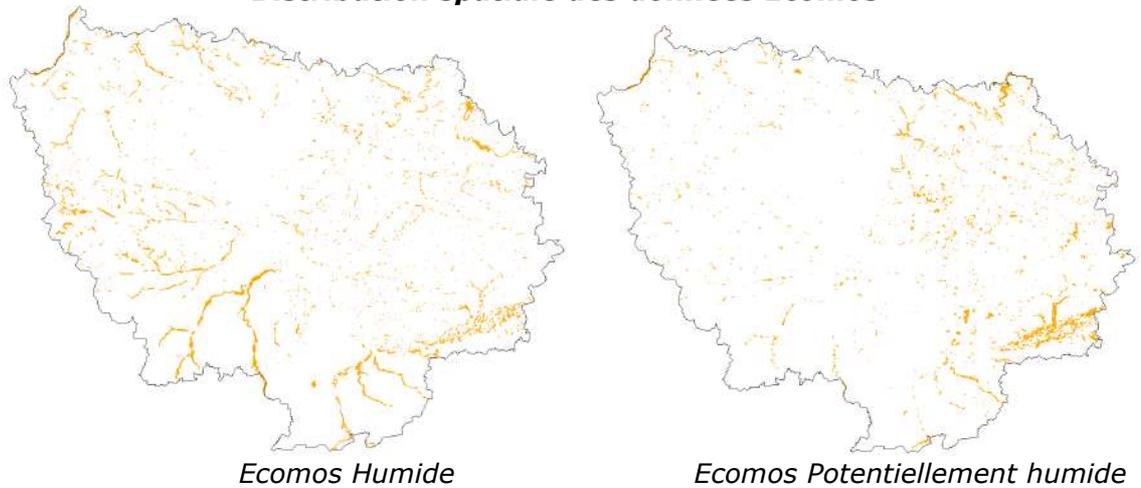
- **Caractère « humide »** (code « hum » dans le tableau) – Ce caractère « humide » d'ECOMOS sera **à vérifier éventuellement** pour savoir si ce caractère humide correspond à ceux décrits dans l'arrêté du 24 juin 2008.
-
- **Caractère « potentiellement humide »** (code « pothum » dans le tableau) appliqué aux classes faisant références à une espèce arborée : le Peuplier. Toutes les classes mentionnant « Peupleraie » ont été retenues. Les classes sélectionnées sont conférées dans le tableau suivant :

Occupation	Description	CLCS	CLC4	Initiales	CLCS	Initiales	CLCS	Initiales	CLCS	Initiales	Cat. HUMIDITE
coupe	avec les peupliers	311	3117	peuplieres	31175	coupe en peuplieres	31170	coupe en peuplieres	31170	coupe en peuplieres	peuplieres
peuplieres noies	tempete	311	3117	peuplieres	31174	peuplieres noies	31174	peuplieres noies	31174	peuplieres noies	peuplieres
peuplieres claires	tempete	311	3117	peuplieres	31173	peuplieres claires	31172	peuplieres claires, suite a la tempete	31172	peuplieres claires, suite a la tempete	peuplieres
peuplieres claires		311	3117	peuplieres	31173	peuplieres claires	31173	peuplieres claires	31173	peuplieres claires	peuplieres
peuplieres jeunes		311	3117	peuplieres	31173	peuplieres jeunes	31173	peuplieres jeunes	31173	peuplieres jeunes	peuplieres
peuplieres		311	3117	peuplieres	31171	peuplieres denses	31171	peuplieres denses	31171	peuplieres denses	peuplieres
peuplieres jeunes	sur megaphorbiales	311	3117	peuplieres	31172	peuplieres jeunes	31172	peuplieres jeunes sur megaphorbiales	31172	peuplieres jeunes sur megaphorbiales	peuplieres
plan d'eau	inondable	512	5124	inondable	51240	inondable	51240	inondable	51240	inondable	hum
tourbiere		412	4120	tourbiere	41200	tourbiere	41200	tourbiere	41200	tourbiere	hum
marais interieurs	avec arbustes ou arbres >= 30%	411	4116	autres types de zones humides interieurs	41163	vegetation humide, avec arbustes	41163	vegetation humide, avec arbustes	41163	vegetation humide, avec arbustes	hum
marais interieurs	avec arbustes <= 30%	411	4116	autres types de zones humides interieurs	41162	vegetation humide, avec arbustes	41162	vegetation humide, avec arbustes	41162	vegetation humide, avec arbustes	hum
marais interieurs	basin de decantation	411	4116	autres types de zones humides interieurs	41161	vegetation humide basse	41161	vegetation humide en bassin de decantation	41161	vegetation humide en bassin de decantation	hum
marais interieurs	basin de decantation en plein air	411	4116	autres types de zones humides interieurs	41161	vegetation humide basse	41161	vegetation humide en bassin de decantation	41161	vegetation humide en bassin de decantation	hum
marais interieurs	au bord des ruisseau	411	4116	autres types de zones humides interieurs	41161	vegetation humide basse	41161	vegetation humide en bassin d'amenagement	41161	vegetation humide en bassin d'amenagement	hum
marais interieurs		411	4116	autres types de zones humides interieurs	41161	vegetation humide basse	41161	vegetation humide basse	41161	vegetation humide basse	hum
marais interieurs	avec des saules	411	4116	zone marécageuse avec saules	41160	zone marécageuse avec saules	41160	zone marécageuse avec saules	41160	zone marécageuse avec saules	hum
marais interieurs	magyphorbiales	411	4116	magyphorbiales	41140	magyphorbiales	41140	magyphorbiales	41140	magyphorbiales	hum
marais interieurs	magyphorbiales	411	4116	magyphorbiales	41130	magyphorbiales	41130	magyphorbiales	41130	magyphorbiales	hum
marais interieurs	roseliere	411	4112	roseliere	41120	roseliere	41120	roseliere	41120	roseliere	hum
marais interieurs	grèves d'été	411	4111	grèves d'été	41110	grèves d'été	41110	grèves d'été	41110	grèves d'été	hum
lande	lande humide	322	3223	lande humide	32230	lande humide	32230	lande humide	32230	lande humide	hum
forêt humide claire	forêt marécageuse	311	3116	forêt marécageuse	31162	forêt marécageuse claire	31162	forêt marécageuse claire	31162	forêt marécageuse claire	hum
forêt humide jeune	forêt marécageuse	311	3116	forêt marécageuse	31162	forêt marécageuse jeune	31162	forêt marécageuse jeune	31162	forêt marécageuse jeune	hum
forêt humide	lande net	311	3116	forêt marécageuse	31161	forêt marécageuse dense	31161	TH1	31161	TH1	hum
forêt humide	forêt marécageuse	311	3116	forêt marécageuse	31161	forêt marécageuse dense	31161	forêt marécageuse dense	31161	forêt marécageuse dense	hum
forêt humide rosée	tempete	311	3115	feuillus humides	31154	forêt humide rosée	31154	forêt humide rosée	31154	forêt humide rosée	hum
forêt humide claire	tempete	311	3115	feuillus humides	31153	forêt humide claire	31153	forêt humide claire, suite a la tempete	31153	forêt humide claire, suite a la tempete	hum
forêt humide claire		311	3115	feuillus humides	31153	forêt humide claire	31153	forêt humide claire	31153	forêt humide claire	hum
forêt humide jeune	lande net	311	3115	feuillus humides	31152	forêt humide jeune	31152	forêt humide dense, sous ligne HT ou THT	31152	forêt humide dense, sous ligne HT ou THT	hum
forêt humide jeune		311	3115	feuillus humides	31152	forêt humide jeune	31152	forêt humide jeune	31152	forêt humide jeune	hum
forêt humide		311	3115	feuillus humides	31151	forêt humide dense	31151	forêt humide dense	31151	forêt humide dense	hum
riche herbacée	presomptive	231	2314	riche herbacée humide	23140	riche herbacée sur ancienne presomptive	23140	riche herbacée sur ancienne presomptive	23140	riche herbacée sur ancienne presomptive	hum
prairie humide	30%, en forêt	231	2312	prairie humide	23123	prairie humide avec arbres	23123	prairie humide avec arbres, en forêt	23123	prairie humide avec arbres, en forêt	hum
prairie humide	30%, en forêt	231	2312	prairie humide	23123	prairie humide avec arbres	23123	prairie humide avec arbres	23123	prairie humide avec arbres	hum
prairie humide	en forêt	231	2312	prairie humide	23122	arborescences	23122	prairie humide avec arborescences, en forêt	23122	prairie humide avec arborescences, en forêt	hum
prairie humide	avec arborescences >= 30%	231	2312	prairie humide	23122	arborescences	23122	prairie humide avec arborescences	23122	prairie humide avec arborescences	hum
prairie humide	basin de decantation	231	2312	prairie humide	23121	prairie humide "propre"	23121	decantation	23121	decantation	hum
prairie humide	le long des voies de communication et autour des	231	2312	prairie humide	23121	prairie humide "propre"	23121	prairie humide "propre", lien a des infrastructures de transport	23121	prairie humide "propre", lien a des infrastructures de transport	hum
prairie humide	prairie en forêt	231	2312	prairie humide	23121	prairie humide "propre"	23121	prairie humide "propre", en forêt	23121	prairie humide "propre", en forêt	hum
prairie humide		231	2312	prairie humide	23121	prairie humide "propre"	23121	prairie humide "propre"	23121	prairie humide "propre"	hum
plan d'eau	avec nonaïcher	512	5123	plan d'eau avec nonaïcher	51230	plan d'eau avec nonaïcher	51230	plan d'eau avec nonaïcher	51230	plan d'eau avec nonaïcher	hum
plan d'eau	avec végétation aquatique	512	5123	vegetation	51230	plan d'eau avec végétation aquatique	51230	plan d'eau avec végétation aquatique	51230	plan d'eau avec végétation aquatique	hum
plan d'eau	(sphaire, cerise, etc.)	512	5123	vegetation	51230	plan d'eau avec végétation aquatique	51230	plan d'eau avec végétation aquatique	51230	plan d'eau avec végétation aquatique	hum

Classes ECOMOS retenues pour l'enveloppe d'alerte

D'un point de vue spatiale, la distribution de ces données se présente comme suit :

Distribution spatiale des données Ecomos



A.II.1.3. Inventaire AESN – Agence de l'Eau Seine Normandie

A.II.1.3.1. Descriptif

Cette cartographie n'est ni une délimitation au sens de la loi DTR, ni un inventaire tel qu'il est défini par le tronc commun. Cette étude finalisée en 2006 avait comme objectif de dépeindre une situation générale de référence quant aux zones à dominante humide existantes afin de servir d'appui à des travaux de terrain plus détaillés et de « situation zéro » pour des études ultérieures sur l'évolution des zones humides du bassin.



Identification et cartographie des enveloppes d'alerte potentiellement humides selon les critères de la loi développement des territoires ruraux à l'échelle de la région Ile-de-France – Juillet 2010

Ces données sont issues d'une étude réalisée à l'échelle du 1/50 000 à partir d'une photo-interprétation d'orthophotoplans en combinaison avec de l'imagerie satellitale Landsat. Le détail des métadonnées est consigné en Annexe 3.

Le rapport final de l'étude « Cartographie des zones à dominante humide du bassin Seine-Normandie en avril 2006 précise p. 11 que « Ne pouvant certifier par photo-interprétation (sans travaux terrain systématiques avec relevé pédologique à la tarière systématique et relevé floristique) que les zones cartographiées sont à 100% des zones humides au sens de la loi sur l'eau, il a été préféré le terme de zones à dominante humides (ZDH).

Cette cartographie, vue la taille de l'aire d'étude (100000 km²) et la polymorphie de l'objet "zone humide", n'a pas vocation à être exhaustive et fiable à 100 % (cf : limites de la méthode dans le rapport final). Ce travail, réalisé avec une méthode homogène sur tout le bassin, peut être considéré comme un outil d'alerte ou de précaution pour tous les porteurs de projets d'aménagement du territoire, et pour les services de l'Etat concernés

La figure suivante précise la classification utilisée dans l'étude Cartographie des zones à dominante humides.

Classification issue de l'étude AESN

1. Eaux de surface (stagnantes et courantes)
1.1 Eaux courantes
1.2 Annexes hydrauliques - Bras-morts, nonés
1.3 Plans d'eau - Gravières, étangs naturels et artificiels, bassins
2. Formations forestières humides et/ou marécageuses - (taux de couverture > à 50%)
2.1 Boisements à forte naturalité
2.2 Boisements artificiels - plantations (peupliers, résineux, autres)
3. Prairies humides (pâturée ou fauchée)
4. Tourbières, landes, roseières et mégaphorbiaies
4.1 Tourbières et bas-marais
4.2 Landes humides
4.3 Roseières
4.4 Mégaphorbiaies (zones à hautes herbes hygrophiles)
4.5 Sous-type non cartographiable
5. Zones humides littorales
5.1 Pannes dunaies
5.2 Slikke, vasières
5.3 Schorre, prés salés
5.4 Sous-type non cartographiable
6. Terres arables
7. Zones urbaines et autres territoires artificialisés
7.1 Zones bâties

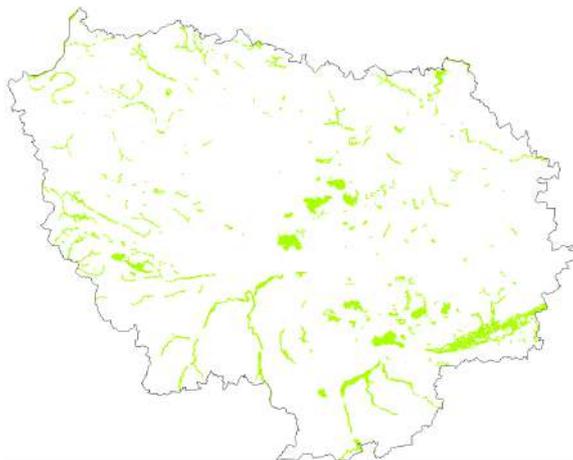
A.II.1.3.2. Sélection des zones humides

La typologie des zones humides utilisées dans l'étude cartographie des zones à dominante humide comporte 7 types d'occupation du sol. Deux niveaux de classification existent. Les niveaux 2,3 et 4 ont été retenus afin de constituer une information sur zones humides pour la constitution d'une enveloppe d'alerte.

Parmi ces types seuls les types correspondants aux codes suivants ont été retenus pour constituer une enveloppe d'alerte.

Code 2 : Formations forestières humides et/ou marécageuses – (taux de couverture > à 50%)
Code 3 : Prairies humides (pâturées ou fauchées)
Code 4 : Tourbières, landes, roselières et mégaphorbiaies

Les parcelles d'inventaires contenant ces trois codes ont été isolées dans une couche particulière afin de constituer une seule couche d'information concernant les zones à dominante humides sélectionnées à partir des données de l'AESN.



***Distribution spatiale
des données de l'AESN***

A.II.1.4. Inventaire des boisements alluviaux de la DIREN

A.II.1.4.1. Descriptif

Cette étude menée en 2005 a été réalisée par la Société ECOSPHERE pour le compte de La Direction Régionale de l'Environnement de l'Île-de-France, en tant que DIREN de Bassin, et l'Agence de l'eau Seine-Normandie, afin notamment de :

- Suivre les prescriptions du SDAGE qui demande explicitement le recensement de « tous les secteurs résiduels de forêts alluviales du bassin en relation directe avec l'eau » ;
- Mettre en oeuvre des actions d'acquisition et/ou de protection des secteurs d'intérêt patrimonial ;
- Poursuivre la politique de délimitation des zones humides prioritaires.

La présente étude a permis, sur les bases méthodologiques et cartographiques d'une étude de faisabilité (1999) de réaliser :

- un inventaire plus fin à l'échelle du 1 :25 000, des forêts alluviales de la vallée de la Seine, de sa source à son embouchure ;
- une analyse de l'intérêt patrimonial des secteurs délimités qui pourra ultérieurement permettre la mise en place d'outils réglementaires

D'après l'étude, « Les forêts alluviales comprennent l'ensemble des formations boisées de tailles diverses, arbustives ou arborescentes, "naturelles" ou faiblement artificialisées (les peupleraies trop artificialisées et autres plantations analogues sont exclues), qui se développent au sein du lit majeur des différents types de cours d'eau (du ruisseau au grand fleuve). Elles s'établissent sur des alluvions caillouteuses, sableuses ou limoneuses et sont soumises à inondation ou engorgement par débordement ou remontée de nappe. Selon les caractéristiques des crues et le positionnement dans le bassin versant, les forêts alluviales se différencient en formation à bois tendre (Saulaie à "osiers" ou Saulaie blanche), en formation à bois dur (Aulnaie-Frênaie, Chênaie

pédonculée-Ormaie...) ou en boisements marécageux (Saulaie cendrée, Aulnaie). Une solidarité fonctionnelle forte existe entre ces différentes unités et la dynamique fluviale ».

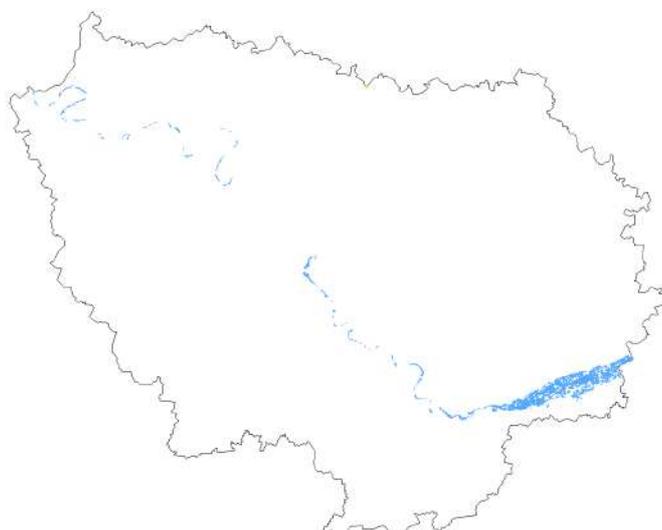
La typologie retenue dans cette étude est la suivante :

Nom français des 7 unités retenues	Appartenance phytosociologique (nomenclature de BARDAT & al. 2004)
Saulaie alluviale arbustive à saules « osiers »	alliance du Salicion triandrae (classe des Salicetea purpureae)
Saulaie alluviale arborescente à Saule blanc	alliance du Salicion albae (classe des Salicetea purpureae)
Fruticées alluviales à Saule cendré et Viorne obier / à Houblon et Sureau noir	alliance du Salici cinereae-Rhamnion catharticae (classe des Crataego-Prunetea)
Boisement alluvial des petites et moyennes vallées	sous-alliance de l'Alnion glutinoso-incanae et alliance de l'Alnion incanae (classe des Querco-Fagetea)
Boisement alluvial des grandes vallées	sous-alliance de l'Ulmenion minoris et alliance de l'Alnion incanae (classe des Querco-Fagetea)
Saulaie marécageuse	alliance du Salicion cinereae (classe des Alnetea glutinosae)
Aulnaie marécageuse	alliance de l'Alnion glutinosae et du Sphagno-Alnion glutinosae (classe des Alnetea glutinosae)

A.II.1.4.2. Sélection des zones humides

Une comparaison entre l'appartenance phytosociologique des unités retenues et les habitats caractéristiques de zones humides définis dans l'arrêté du 24 juin 2008 modifié a permis de constater que toutes les unités identifiées comme « forêt alluviale » dans l'étude correspondaient à des habitats humides.

Les 7 unités ont donc été retenues pour constituer la couche d'information correspondant aux forêts alluviales.



Distribution spatiale des boisements alluviaux

A.II.1.5. Inventaire des PNR – Parc Naturels Régionaux

A.II.1.5.1. Descriptifs

PNR Chevreuse

Durant l'année 2008, une cartographie a été entreprise sur l'ensemble des 62 communes du projet d'extension du PNR sur le 91 et le 78. L'étude s'est attachée uniquement faute de temps à la précision de tout ce qui concerne les milieux ouverts (prairies, friches, landes...) et aussi les zones humides, qu'elles soient ou non boisées.

La base du travail est la couverture régionale des milieux naturels réalisée par l'Iaurif en 2000 (ECOMOS). Cette base est un bon outil de travail et recense principalement les éléments boisés (les plus finement décrits) mais aussi globalement toute l'occupation des sols, et donc les zones humides. Sur les 62 communes concernées par l'extension du PNR, ont été simplement réactualisées et re-précisées les nomenclatures de milieux ouverts et humides.

PNR Oise

Le PNR Oise - Pays de France ne dispose pas de travaux spécifiques sur les zones humides. En revanche, le PNR devrait prochainement disposer d'éléments collectés dans le cadre de l'élaboration du DOCOB Natura 2000 relatif à la ZPS « forêts picardes : massif des trois forêts et bois du Roi » et au SIC « massifs forestiers d'Halatte, de Chantilly et d'Ermenonville ». Compte tenu des habitats « humides » d'intérêt communautaire identifiés dans le marais du Lys il est envisagé une extension du SIC et la réalisation d'inventaires complémentaires.

PNR Vexin

Le PNR du Vexin ne dispose que des données de l'AESN et des données sous forme de ligne de ruissellement et de débordement. Seules les données sous forme linéaire ont été utilisées sur lesquelles une zone tampon de 50 mètres a été appliquée.

A.II.1.5.2. Sélection des zones humides

PNR Chevreuse

En fonction des descriptifs des 4 niveaux de classification de la typologie d'Ecomos, les mêmes critères relatif au caractère humide ont été choisis : **Caractère « humide »** (code « hum » dans le tableau précédent) – Ce caractère « humide » d'ECOMOS sera à vérifier éventuellement pour savoir si ce caractère humide correspond à ceux décrits dans l'arrêté du 24 juin 2008.

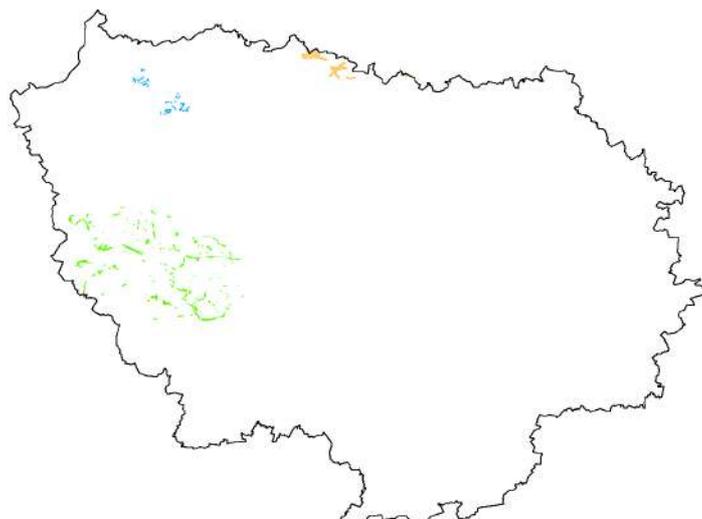
PNR Oise

En attendant, la couche SIG correspondant à la trame « fond de vallées et espaces connexes » du plan de référence de la charte du Parc a été utilisé et considérée comme zones potentiellement humide.

PNR Vexin

En attendant, la couche SIG correspondant à la trame « fond de vallées et espaces connexes » du plan de référence de la charte du Parc a été utilisée et considérée comme zones potentiellement humide.

Ces données très localisées sont représentées sur la figure suivante :



Distribution spatiale des données PNR

A.II.1.6. Autres données

Le conseil général du département 77 détient des données d'ENS « Espaces Naturels sensibles » qui sont un outil de protection des espaces naturels par leur acquisition foncière ou par la signature de conventions avec les propriétaires privés ou publics.

Les milieux délimités dans une même ENS peuvent être très hétérogènes comme dans l'exemple ci-dessous où l'on a à la fois des zones marécageuses et une zone boisée sur une colline. Ces données nécessiteraient tout un travail de ré-interprétation pour isoler les zones susceptibles d'être humides.

Il en est de même avec les zones ZNIEFF (Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique Faunistique ou Floristique) et les zones Natura2000 qui sont composées de milieux hétérogènes ou la composante zones humides n'est pas forcément mise en avant ou caractérisée. De plus, le fichier à notre disposition, ne faisait état que de la dénomination pour chaque ZNIEFF, de même pour les données Natura2000. Un premier travail de sélection basé sur le critère humide dans la dénomination (Marais, mares, étang...) a été effectué et en regardant chaque zone faisant mention de noms faisant référence à une zone potentiellement humide, la délimitation comprend souvent d'autres milieux.

Ces données au final n'ont pas été exploitées pour cette étude.

A.II.2 DONNEES EXOGENES D'INVENTAIRE PEDOLOGIQUE

A.II.2.1. Rappel du contexte réglementaire lié aux sols hydromorphes.

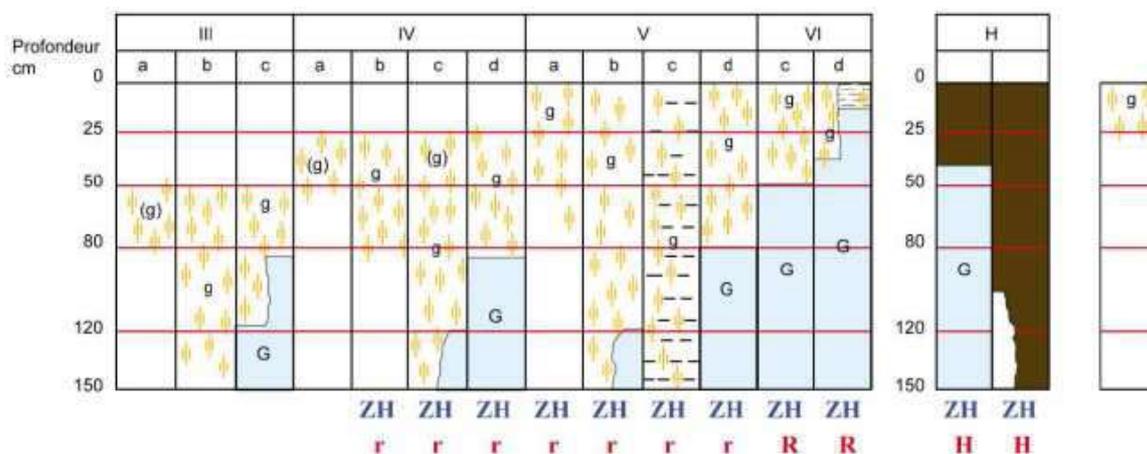
Selon l'arrêté du 24 juin 2008, « Un espace peut être considéré comme zone humide dès qu'il présente des sols qui correspondent à un ou plusieurs types pédologiques parmi ceux mentionnés dans la liste figurant en Annexe de l'arrêté et identifiés selon la méthode figurant dans l'Annexe 1.2 de ce même arrêté ».

Les sols de zones humides correspondent à :

- tous les histosols car ils connaissent un engorgement permanent en eau qui provoque l'accumulation de matières organiques peu ou pas décomposés ;
- tous les réductisols car ils connaissent un engorgement permanent en eau de faible profondeur se marquant par des traits réductiques débutant à moins de 50 centimètres de profondeur dans le sol ;
- aux autres sols caractérisés par des traits rédoxiques débutant à moins de 50 centimètres de profondeur dans le sol et se prolongeant ou s'intensifiant en profondeur.

L'application de cette règle générale conduit à une liste des types de sols présentés dans le texte de la loi. Cette liste est applicable en France métropolitaine et en Corse.

Selon l'arrêté du 24 juin 2008, les classes Ivb et IVc définies d'après les classes d'hydromorphie du Groupe d'Etude des Problèmes de Pédologie Appliquée (GEPPA, 1981 ; modifié), sont incluses. Selon l'arrêté du 1^{er} Octobre modifiant l'arrêté du 24 juin 2008, les classes Ivb et IV c sont supprimées en tant que sols caractéristiques des zones humides.



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)

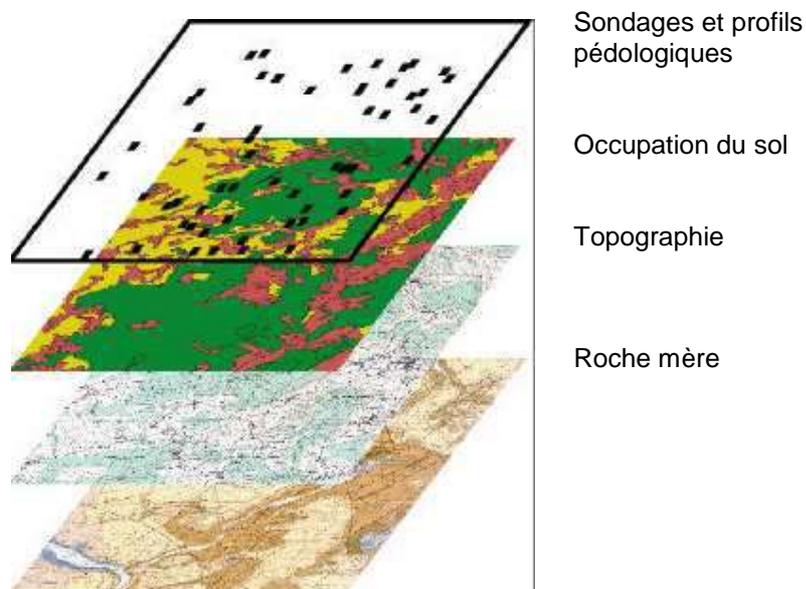
A.II.2.2. Quelques notions de pédologie : Découpage géographique : Les Unités Cartographiques de Sols (UCS) et les Unités Typologiques de Sols (UTS) au sein des bases de données sols.

A.II.2.2.1. Les Unités Cartographiques de Sol

Elles sont également appelées des « paysages pédologiques », «pédopaysages» ou encore « Unités Pédopaysagères » (Girard, 1983 ; Bornand et al.,1989). C'est une notion complexe, dont la détermination est difficile à normaliser car les sols, les paysages sont différents d'une région à une autre.

Les pédopaysages ou Unités Cartographiques de sol sont une combinaison des éléments du paysage (roche mère, topographie, eaux de surface, occupation du sol) et des caractéristiques des sols (types de sol, profils et horizons pédologiques).

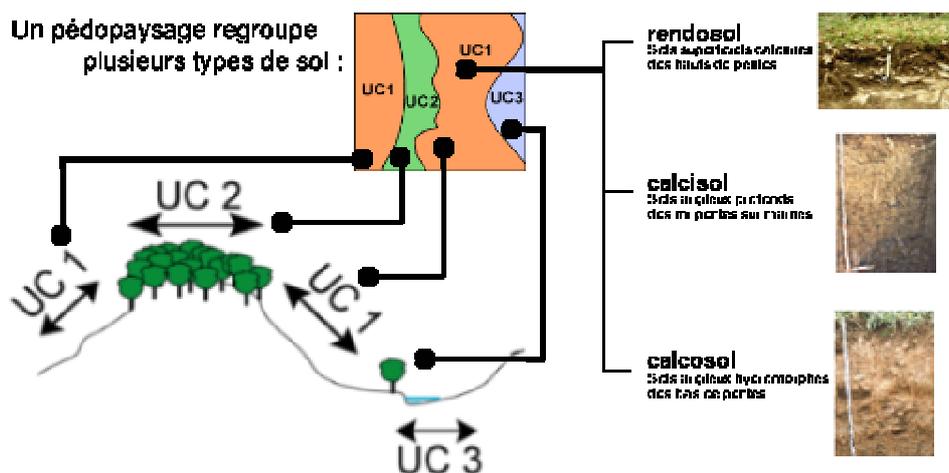
En conséquence, les unités délimitées sont généralement des associations de sols dont le mode d'organisation spatiale, les interactions, les natures et les comportements sont caractéristiques.



les pédopaysages sont une combinaison des éléments du paysage et des caractéristiques des sols (Source STB, <http://www.igcs-stb.org/pdf/Methodologie.pdf>)

Chaque pédopaysage est décrit de la manière la plus exhaustive possible dans une structure de base de données établie par l'INRA à l'échelle nationale. ([Dictionnaire des données Donesol2 INRA](#)).

L'UCS est l'objet géographique élémentaire de cette base de données des sols au 1/250000^{ème}. A partir d'un numéro d'unité cartographique, il est ainsi possible de retrouver, pour un pédopaysage toutes les informations le caractérisant, c'est-à-dire les types de sols qui le composent et les relevés terrains qui ont été effectués (fosses et sondages).



Exemple théorique de pédopaysage (Source STB, <http://www.igcs-stb.org/pdf/Methodologie.pdf>)

Le sommet forestier des versants présentant la même typologie sera un pédopaysage caractéristique (UC 2).

Ces versants composés de 3 Unités Typologiques de Sols seront eux-même un pédopaysage à part car ils possèdent les mêmes caractéristiques (morphologie (pente), roche mère (calcaire), occupation du sol (prairie). Les seuls critères qui les différencient sont leur organisation en fonction de leur position dans la pente et leur substrat) : (UC 1 : en haut de pente, RENDOSOL des hauts de pentes, Sol argileux, non calcaire des mi-pentes sur marnes, ...).

La représentation se fera par le regroupement de ces trois types de sols dans le pédopaysage appelé UC1.

Ces Unités Cartographiques de Sols comprennent ainsi généralement plusieurs Unités Typologiques de Sol, non délimitées graphiquement, mais organisées selon un motif de répartition particulier qui peut être décrit dans la base de données sols.

A.II.2.2.2. Les Unités Typologiques de Sol

Les Unités Typologiques de Sols sont des portions de territoires, de quelques mètres carré à plusieurs hectares qui présentent une couverture pédologique homogène : même critère diagnostique de pédogénèse, même séquence d'horizons avec une variabilité réduite.

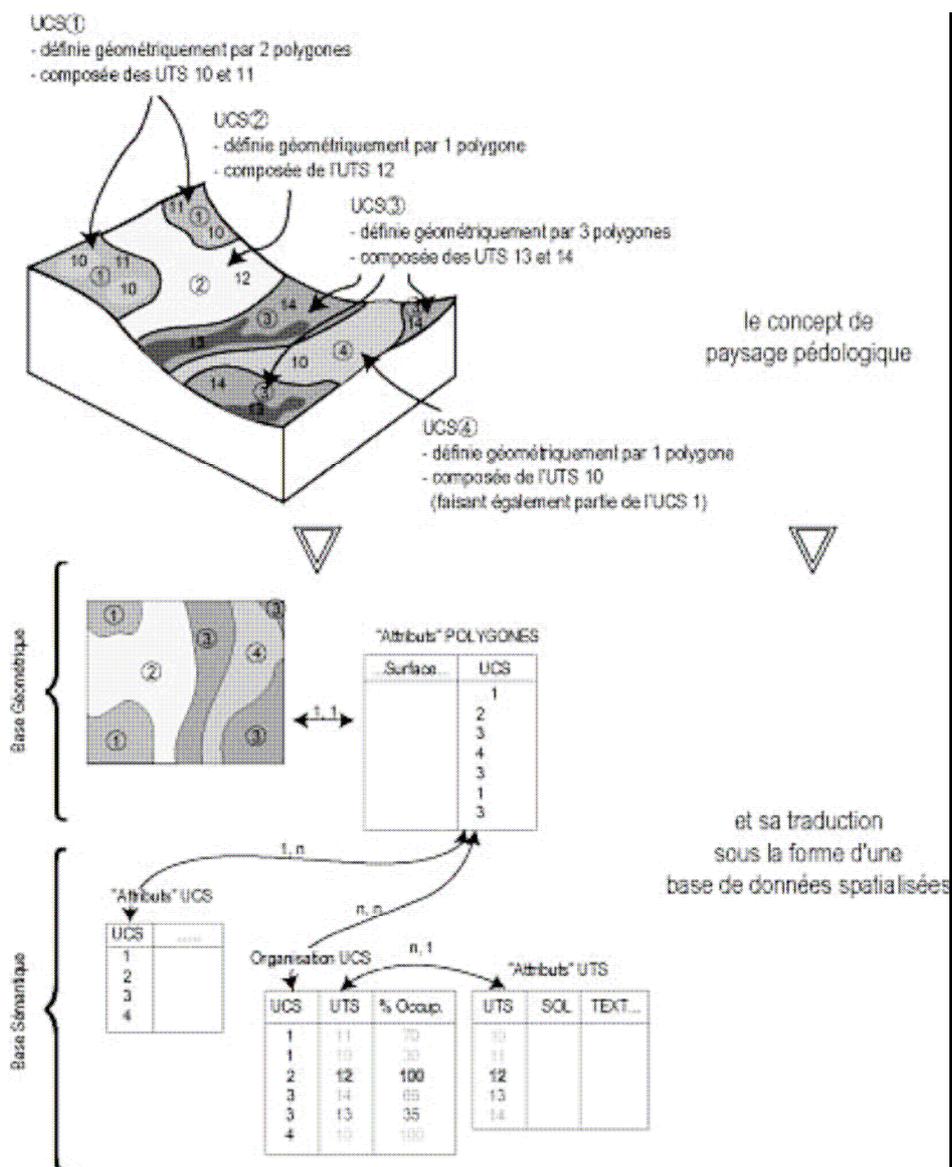
Les Unités Typologiques de Sol sont caractérisées par la description d'un ou plusieurs profils. Regroupées elles forment les pédopaysages ou Unités Cartographiques de Sols.

La table concernant les UTS décrit les caractéristiques globales du sol (géologie, nature et profondeur du matériau, pente, orientation, pH, granulométrie.....), à partir de l'étude de plusieurs observations.

A.II.2.2.3. Représentation cartographique

Les Unités Cartographiques de Sols dans les cartes géologiques au 1/250000ème et 1/100000ème sont les plus petites entités géographiques et leur numéro est le seul lien entre la base sémantique et la représentation cartographique (sous forme de polygones géoréférencés) des sols. Ils constituent dans la base de données la couche d'information qui sera utilisée pour représenter sur les cartes les propriétés des sols ou l'estimation de leur comportement.

Dans les études au 1/50000^{ème} utilisées, l'unité typologique de sol peut être utilisées pour représenter cartographiquement les propriétés des sols.



(Source D. Arrouays et al.,
Étude et Gestion des Sols,
11, 3, 2004)

A.II.2.3. Données pédologiques au 250 k

A.II.2.3.1. Descriptif

Le référentiel pédologique de l'Ile de France au 1/ 250 000 a été mis à disposition par l'INRA. Cette carte résulte de l'exploitation de sondage sur le terrain effectué tous les 440 hectares.

Une sélection des différentes unités cartographiques (UCS) renfermant des sols humides selon la définition de l'arrêté du 24 juin 2008 modifié a été effectuée par l'INRA. Le détail des Unités cartographiques sélectionnées est consigné en Annexe 4. La sélection du pourcentage d'unité de sol a été effectuée à partir du champ « ZH2 ».

La classification repose sur le pourcentage des types de sols (UTS) répondant aux critères des zones humides (jusqu'à la classe IV incluse). Au final, 7 classes ont été identifiées par l'INRA en fonction de leur pourcentage d'unité typologiques de sols humides:

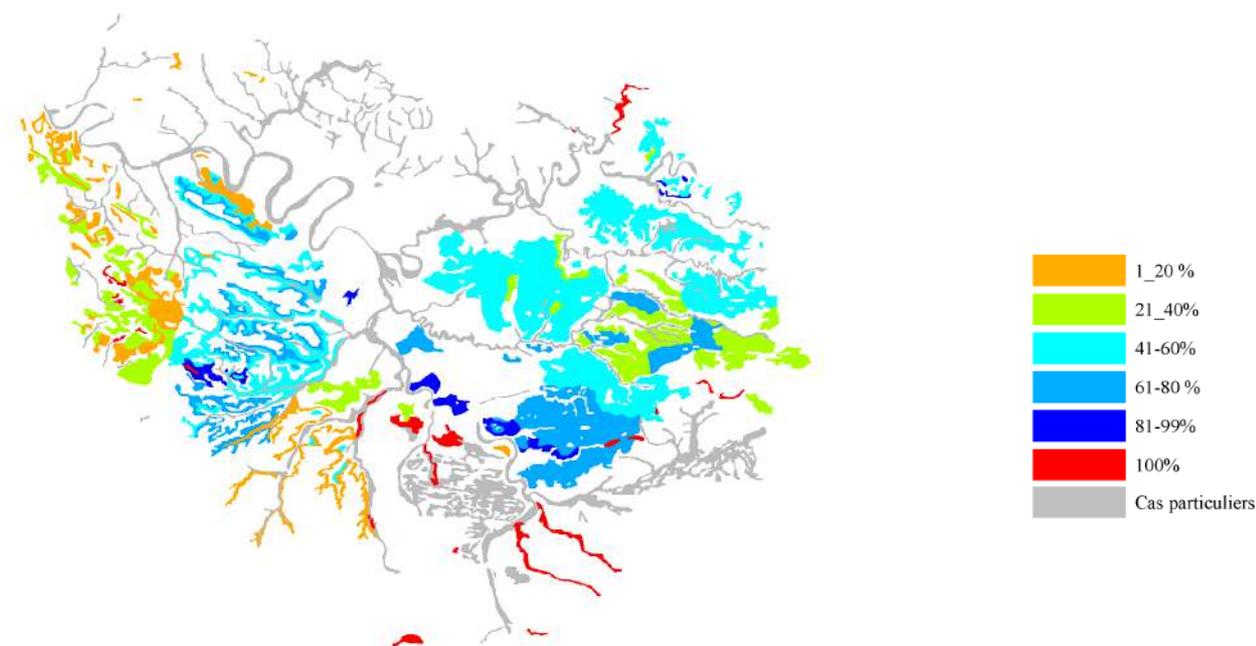
- . 1-20 % UTS
- . 21-40% UTS
- . 41-60% UTS
- . 61-80% UTS
- . 81-99% UTS
- . 100% UTS
- . Cas particuliers

Pour les cas particuliers, selon l'arrêté du 24 juin 2008, « 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 ; podzosols 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 50 premiers centimètres du sol. » L'absence de traces d'hydromorphie sur ces sols n'est donc pas le gage d'un sol non humide.

A.II.2.3.2. Sélection des zones humides

Les 7 classes définies par l'INRA ont été considérées comme contenant potentiellement des zones humides.

Les UC retenues comme abritant en totalité ou en partie des zones humides sont consignées en Annexe 4.



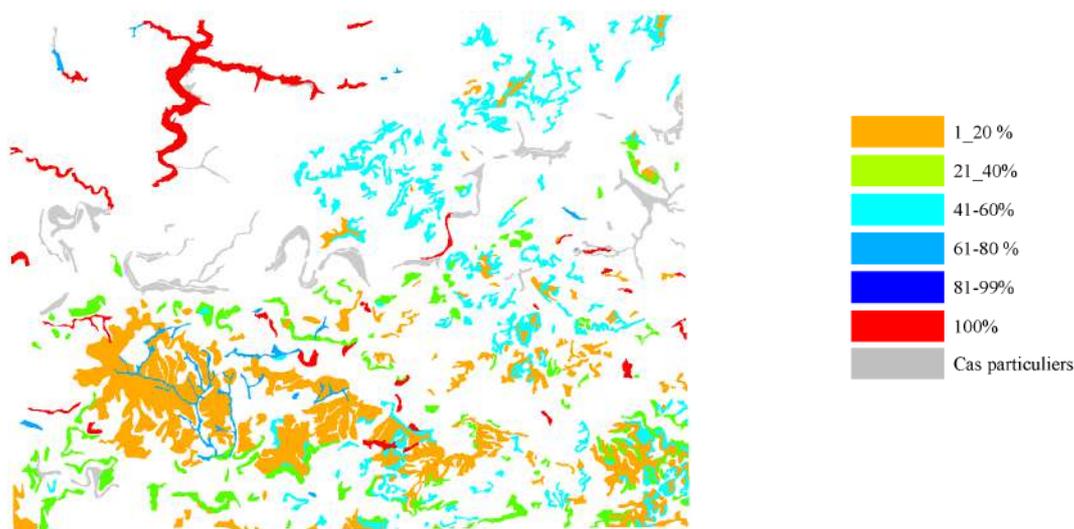
Carte pédologique au 1/250 000 sur toute l'Ile de France : Pourcentage par UCS des types de sols (UTS) répondant aux critères des zones humides (jusqu'à la classe Ivd incluse)

A.II.2.4. Données pédologique au 1/100 000ème – Carte de Meaux

A.II.2.4.1. Descriptif

La carte pédologique de Meaux au 1/ 100 000ème a été mise à disposition par l'INRA. Comme pour la carte au 1/ 250 000ème, la classification repose sur le pourcentage des types de sols (UTS) répondant aux critères des zones humides (jusqu'à la classe IV incluse). Elle couvre une partie de l'Ile de France et de la zone test.

A.II.2.4.2. Sélection des zones humides



Carte pédologique au 1/100 000 feuille de Meaux : Pourcentage par UCS des types de sols (UTS) répondant aux critères des zones humides (jusqu'à la classe Ivd incluse)

En Annexe 5 sont reportées les UC retenues correspondant à des zones humides.

A.II.2.5 Données pédologiques au 1/ 50 000ème

A.II.2.5.1. Descriptif

Cette étude cartographique a été réalisée par la Chambre d'Agriculture de Seine et Marne en partenariat avec le Conseil Régional d'Ile-de-France, le Conseil Général de Seine et Marne, avec l'appui scientifique de l'unité infosol de l'INRA. Elle vise à compléter les connaissances existantes sur le département de Seine et Marne à l'échelle du 1/50000ème.

L'étude a été réalisée en respectant le cahier des charges admis pour une carte au 1/50000ème, soit à l'aide d'une observation de terrain tous les 25 hectares. Elle s'est appuyée sur des cartes des sols de canton au 1/25000 ou des cartes à plus grande échelle comme les cartes des sols au 1/100000ème et au 1/250000ème.

Trois feuilles cartographiques au 1/ 50 000 ont été fournies par la chambre d'agriculture qui couvrent une partie de la zone test.

- Feuille de Melun
- Feuille de Brie-Comte-Robert
- Feuille de Nangis

Deux niveaux d'information étaient disponibles, des informations sur les unités cartographiques mais aussi sur les unités cartographiques de sols³ mais aussi sur les unités typologiques de sol⁴.

La Chambre d'Agriculture de Seine et Marne a sélectionné les différentes Unités Cartographiques de Sols renfermant des sols humides ainsi que les Unités Typologiques de Sols humides. Elle a également pour chaque Unité Typologique de Sol renseigné la classe GEPPA correspondante. Les Unités Cartographiques de Sols et les Unités Typologiques de Sol sélectionnées pour les trois feuilles cartographiques sont reportées dans trois tableaux en Annexe 6

A.II.2.5.2. Sélection des zones humides

L'ensemble des Unités Cartographiques de Sols et les Unités Typologiques de Sol sélectionnées par la Chambre d'agriculture de Seine et Marne ont été considérées comme contenant potentiellement des zones humides.

La manière dont ces données pédologiques ont été utilisées pour constituer des enveloppes d'alerte est présentée dans la troisième partie.



**Unités de sol
des 3 feuilles
cartographiques
au 1/50 000**

³

⁴ Unité typologique de sol = Portions de territoires, de quelques mètres carré à plusieurs hectares présentant une couverture pédologique homogène : même critère diagnostique de pédogénèse, même séquence d'horizons avec une variabilité réduite.

A .II.3 Données exogènes définies par d'autres critères

A.II.3.1 Inventaires CASSINI

A.II.3.1.1. Descriptif

« 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 XVII^e 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).*

L'utilisation de la triangulation comme méthode de mesure des distances conférait à ce travail une grande précision sans précédent et fut la première grand enquête toponymique national. La « carte de Cassini » est constituée d'un ensemble de 181 feuilles à l'échelle du 1/86 400. Les cartes numériques couvrant l'Ile de France ont été géoréférencées sur le SCAN 25.

A.II.3.1.2. Sélection des zones humides

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.



Exemple d'étangs représentés sur la carte Cassini.

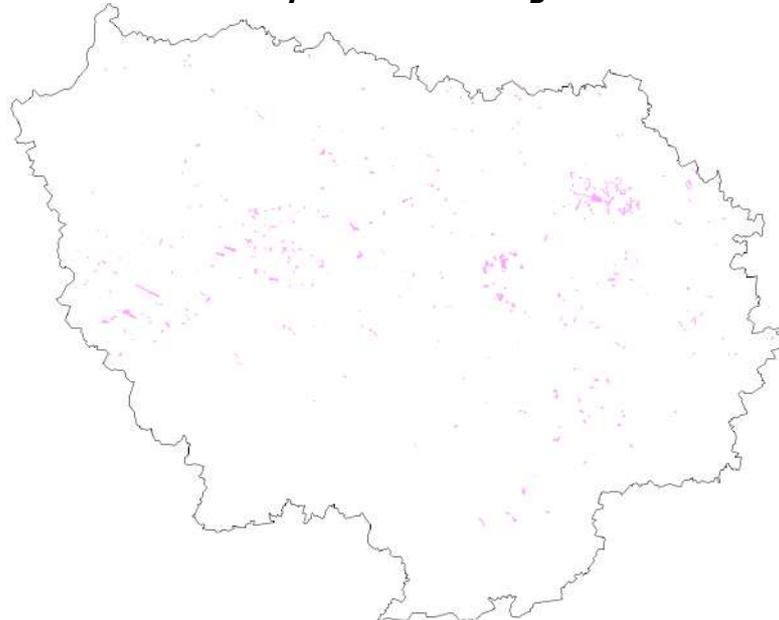
Bien que ces cartes fassent preuve d'une très grande précision géographique pour l'époque, il existe néanmoins des décalages. Afin de pallier le décalage géographique entre ces cartes et le SCAN 25, les étangs ont été repositionnés plus précisément par rapport au SCAN 25 en tenant compte de la topographie et la toponymie.



Exemple de délimitation et repositionnement par rapport au scan 25 d'étangs représentés sur la carte Cassini

Sur l'ensemble de la zone test, 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'oxydo-réductions doivent être présentes encore dans les sols (*communication personnelle*).

Distribution spatiale des étangs de Cassini



A.II.3.2 Inventaires de la toponymie

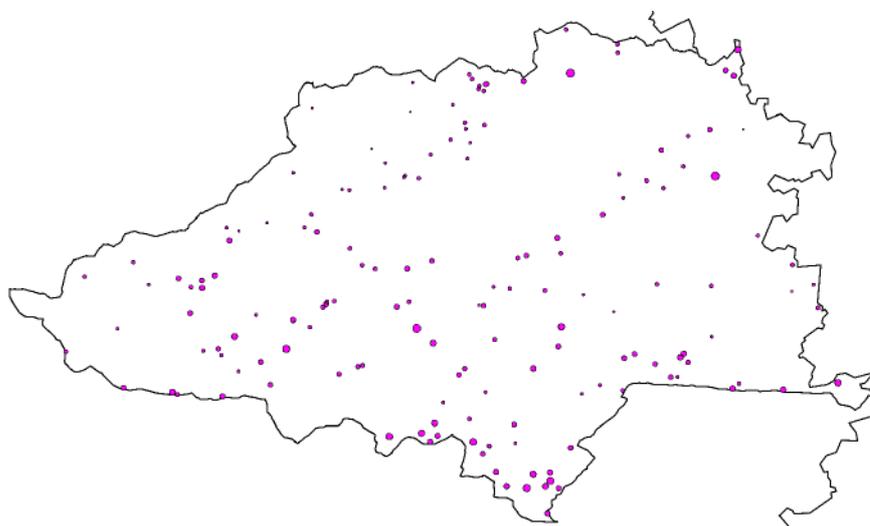
Le nom des lieux regorgent d'informations, en particulier celles en relation avec la présence ancienne ou encore d'actualité, d'eau sous forme étangs, de mares, de marnières, de mouillères.....Seules les dénominations en rapport avec l'eau mais n'étant pas représentées sur le

SCAN 25 ont été repérées. Ces noms ont été inventoriés et matérialisés sous SIG sous la forme de point. Le résultat spatiale dans la zone test est le suivant :

Exemple de recensement et de représentation graphique de la toponymie



Certaines informations comme le nom d'étangs recouper l'information issue des cartes de Cassini



Représentation sur la zone test du critère toponymie d'après la carte SCAN25

Cette information bien que très intéressante n'a pas été prise en compte dans la constitution de l'enveloppe d'alerte finale car elle est sous forme ponctuelle et est empreinte d'une certaine imprécision de localisation.

A.II.3.3. Les données géologiques

Le type de roche mère est un des facteurs environnementaux qui conditionne le type de sol au même titre que le climat, la végétation, l'érosion (mécanique, chimique), l'hydrologie, le temps ou l'action de l'homme.

L'objectif était ici de voir comment les informations présentes dans les cartes géologiques pouvaient apporter des précisions aux cartes pédologiques.

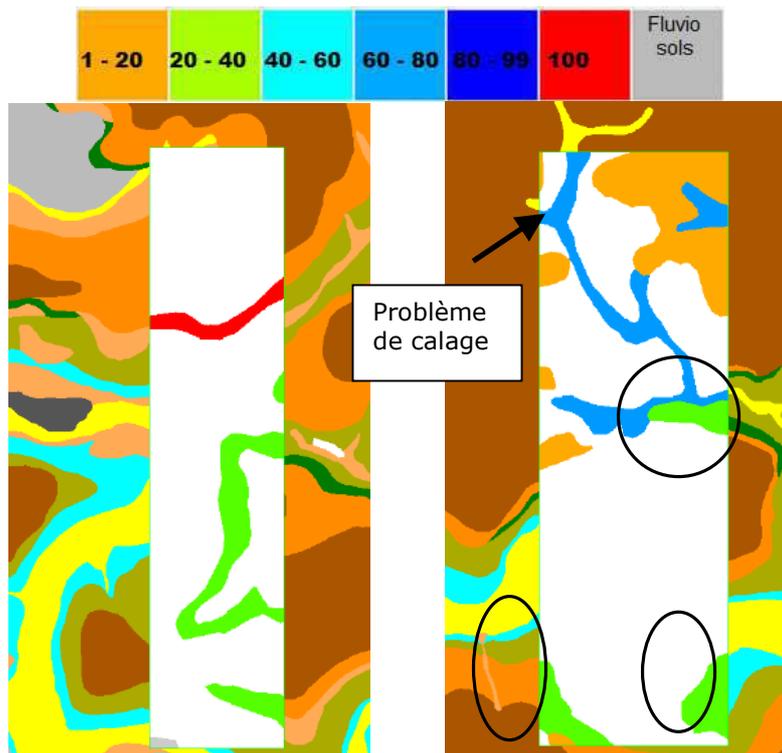
Au total, 34 Cartes géologiques couvrent la région IDF. Ces cartes réalisées par le BRGM sont au 1/50 000ème.



34 cartes Géologiques couvrent la région Ile de France

La superposition des cartes pédologiques et des cartes géologiques à permis d'observer que les corrélations des cartes entre-elles ne sont pas incontestables.

Carte pédologique 1/100 K - Légende en % d'unités de sol



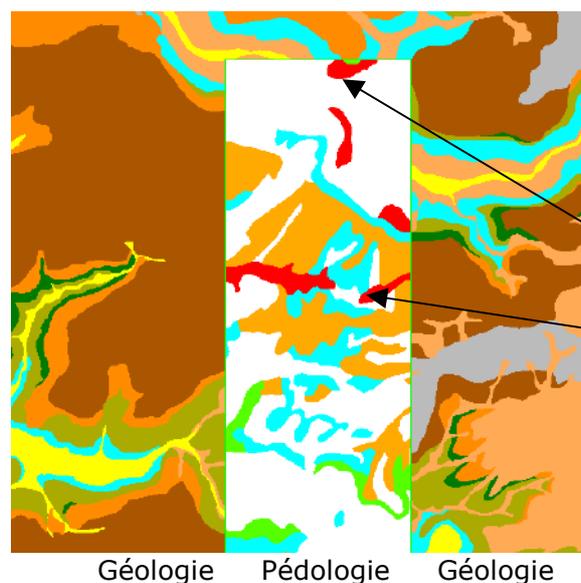
Remblais
Alluvions
Sables, colluvions
Calcaire & argiles à meulière
Marnes vertes
Eau, gravières
Argiles, marnes
Calcaires, calcaires marneux
Marnes supragypseuses, autres
Tourbes, vases
Limons de plateaux

Légende carte géologique :
regroupement de lithologies

Les intersections entre les deux types de cartes montrent que la relation entre les deux n'est pas si évidente et que son utilisation doit être faite prudemment.

En premier, la géologie a un impact indirect sur la pédologie dans le sens où le sol, selon son épaisseur et l'occupation du sol, intègre plus ou moins d'éléments d'altération et subit en partie ses conditions physico-chimiques. Cependant, certaines lithologies (argiles, marnes) sont plus ou moins imperméables et donc propices à la retenue d'eau mais ces lithologies peuvent comporter des changements de faciès horizontaux et latéraux qui sur l'étendue de l'Ile de France, ne sont pas négligeables.

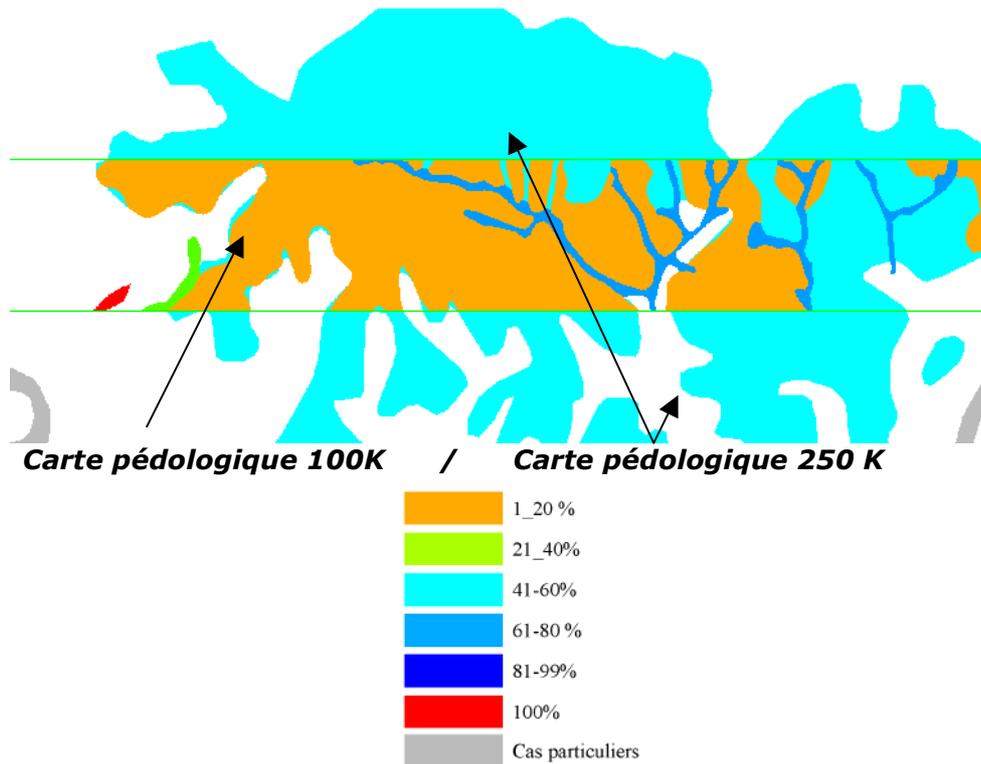
Enfin, d'autres facteurs (pentes, fracturations, karst, nappe phréatique, etc.) interviennent également et perturbent cette relation géologie – pédologie.



Sols humides (100% d'US) en contact avec des lithologies très différentes (calcaires, sables, limons de plateaux, ...)

Le caractère qui reste le plus évident, et une relation directe entre les fluviolsols et les formations alluvionnaires (Fz, Fy, Fx, Fw, Fu, Ft et FO).

D'autre part le principe de cartographie en unités de sols des cartes pédologiques aux différentes échelles (50, 100 et 250K) introduit une imprécision cartographique. Selon le niveau de détail des cartes, les % d'unités de sols humides sont plus ou moins « dilués » dans la représentation ce qui donne des pourcentages différents. Dans l'exemple ci-dessous, on passe d'une classe 40-60% sur la carte 250K à une classe 1-20% sur la carte 100K. En revanche, des sols 80-99% apparaissent dus à un découpage plus fin. C'est donc la moyenne des (80-99) + (1-20) qui donne une classe unique (40-60) sur la carte 250K. Ce facteur ajoute à la difficulté de corrélations entre la pédologie et la géologie.



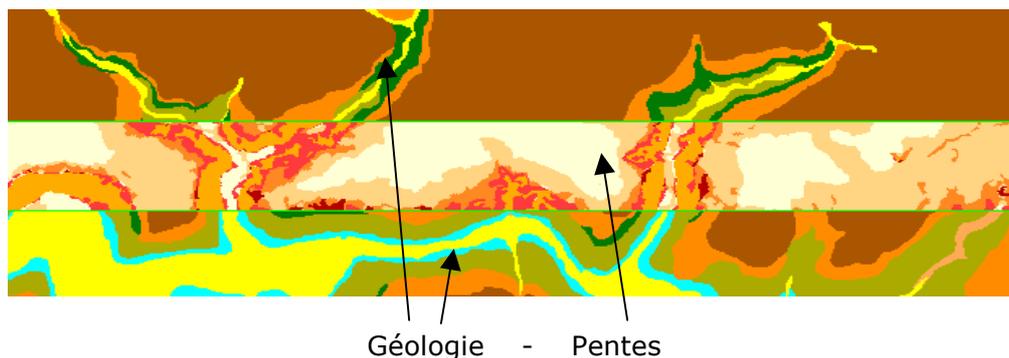
De manière générale il a été jugé préférable de ne pas se servir de la géologie pour préciser le contenu des cartes pédologiques et tenter d'affiner le contour des secteurs susceptibles de renfermer des zones humides.

Certaines lithologies (argiles, marnes) sont plus ou moins imperméables et donc propices à la retenue d'eau. Elles peuvent donc lorsqu'elles affleurent favoriser la présence de zones humides. Cependant certaines de ces lithologies peuvent comporter des changements de faciès horizontaux et latéraux qui sur l'étendue de l'Ile de France, ne sont pas négligeables.

Les zones d'affleurement des couches géologique types e7 (de types marnes supragypseuses), g1a (argiles vertes ou marnes vertes) présentent des traces d'argile et constituent des secteurs propices à la présence de zones humides.

Par contre la présence de marnes et d'argiles dans certaines formations (p-IVmm , RC, g1me, g1mh, g1ar, e7-g1av, e7ms, e7g, e7g-mp, e5c, e5mc et e4ap) en quantités plus ou moins importantes n'est pas forcément un indicateur fiable de potentialité de présence de zones humides.

Une extraction des secteurs d'affleurement des couches e7g1av et g1ar (argiles vertes) a donc été réalisée. Les informations ainsi sélectionnées ont été intégrées à une couche SIG.



La corrélation entre les marnes vertes (vert foncé), les marnes et argiles (vert clair) et les pentes est assez évidente. On les retrouve sur les flancs de coteaux, seuls endroits où elles apparaissent entre les formations calcaires pseudo-tabulaires.

A.II.4 Localisation des secteurs de présence potentielle de zones humides autour du réseau hydrographique.

A.II.4.1 Secteurs de présence potentielle de zones humides autour du réseau hydrographique linéaire

A.II.4.1.1. Objectif recherché

L'objectif de cette phase est de définir à partir de la connaissance du réseau hydrographique linéaire, à savoir les cours d'eau et les drains, une zone de suspicion de présence de zones humides.

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 « bufferisation » d'un réseau n'est pas satisfaisante car elle ne tient pas compte des autres facteurs comme l'occupation du sol ou la topographie. Ces éléments sont importants car ils conditionnent la présence de zones humides ce qui n'est pas totalement le cas de la distance à un réseau.

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 représentatif. 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

A.II.4.1.2. Informations à récupérer et données utilisées.

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

Le réseau hydrographique est majoritairement cartographié dans les couches SURFACE_EAU et TRONCONS _EAU de la BD Topo.

L'autre source d'information concernant les réseaux hydrographiques, est la BD Carthage.

Lorsque c'est possible, il est intéressant de distinguer un réseau hydrographique d'un drain car l'un n'associe pas obligatoirement la présence d'une zone humide, tandis que le second a justement pour but d'assécher un terrain qui est souvent gorgé d'eau.

Les informations sur la pente sont récupérées à partir d'un MNT.

La BD Topo

La BD TOPO a été réalisée par photo-interprétation des photographies aériennes de la BD Ortho. 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.

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.

Pentes

Le MNT utilisé pour l'étude est le MNT issu de la BD TOPO. Les pentes générées ne sont pas exploitables en l'état. La récupération des pentes à partir de ce MNT nécessite un traitement particulier qui est décrit dans le paragraphe A.II.4.1.4 - Les Pentes.

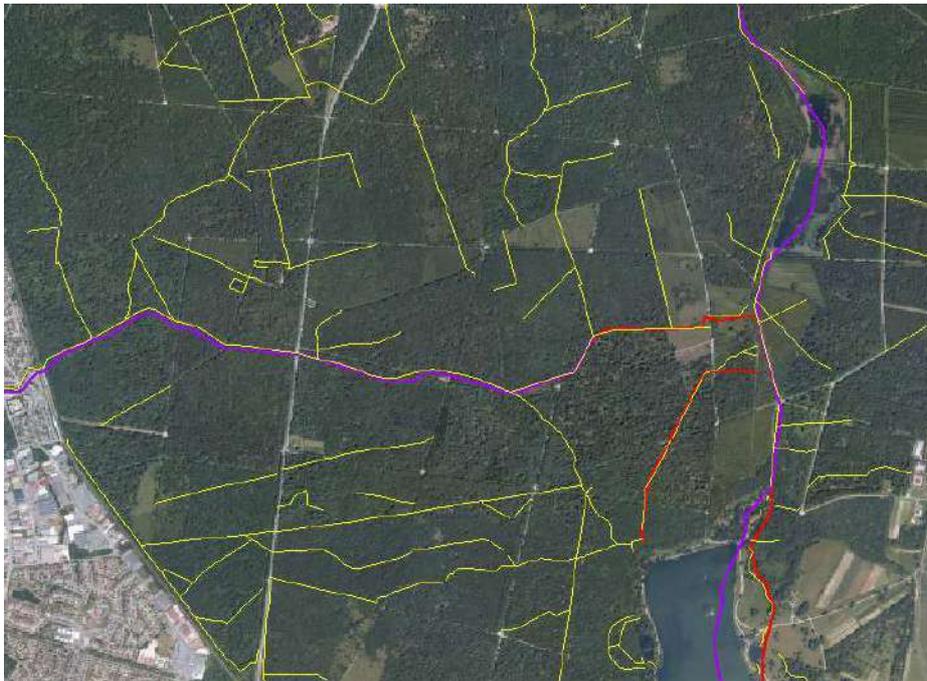
A.II.4.1.3. Méthodologie d'analyse des données et sélection des éléments

pertinents

Cas des drains forestier

Les drains ne sont pas spécifiés en tant que tel dans la BD Topo, mais beaucoup y sont représentés, surtout dans les forêts, ce qui n'est pas le cas dans la BD Carthage. Là encore, la différence entre les 2 bases permet de caractériser une partie de l'information.

Comme mentionné ci-dessus, la présence d'un drain est associée en général à la présence d'une zone humide, car il a pour but d'assécher un terrain qui est souvent gorgé d'eau.



En jaune, les drains dans la forêt se différencient du réseau naturel. On peut supposer que plus une forêt est drainée, plus son caractère humide est évident et on pourrait augmenter la taille du «buffer»...

Cette option n'a pas été envisagée malgré le fait que l'on ait peu d'informations générales sur les milieux forestiers. Il serait intéressant de faire un test de faisabilité d'extraction spécifique des drains forestier pour appliquer une « bufferisation » ciblée sur ce type d'occupation du sol.

Cas des cours d'eau

La première étape a consisté à trier les informations attributaires de la BD Topo et de la BD Carthage de ces deux couches afin d'en extraire l'information utile.

La BD TOPO elle 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 Otho. 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.

Deux champs de la couche TRONCONS_EAU, sont à prendre en compte pour éliminer une partie de l'information. Il s'agit du champ « fictif » et du champ « artificialisé ». Les tronçons fictifs sont des traits complètement artificiels destinés à relier les tronçons entre eux lorsque la rivière passe dans un plan d'eau ou n'est plus visible sur les photos aériennes. Il est clair qu'il est nécessaire d'éliminer ces tronçons avant d'analyser le réseau hydrographique. Dans le cas contraire, des traitements comme la «bufferisation» utiliserait des tronçons sans réelle existence.

Source_Géométrique	Artificialisé	Fictif
BDTopo (version antérieure)	F	F
BDTopo (version antérieure)	F	F
BDTopo (version antérieure)	F	F
BDTopo (version antérieure)	T	F
BDTopo (version antérieure)	F	F
Calculé	F	T
BDTopo (version antérieure)	T	F
BDTopo (version antérieure)	F	F
Calculé	F	T
BDTopo (version antérieure)	F	F
Carte au 1:25 000	F	T
BDTopo (version antérieure)	F	F
BDTopo (version antérieure)	F	F

Chaque tronçon de la couche TRONCONS_EAU possède des attributs propres qui en précisent la nature sans toutefois donner davantage d'information. Les champs sont binaires (F= false, T = true) indiquant l'attribut du tronçon.



Sur cet exemple, on voit un tronçon fictif (en bleu) sur la BD TOPO reliant deux réseaux hydrographiques bien identifiés, il ne correspond pourtant à rien sur l'image.



Sur cet exemple, on voit nettement le tracé sur l'image et l'on peut dire que les tronçons de la BD Topo qui ne sont ni fictifs, ni artificialisés, sont correctement tracés pour un rendu 1/25 000 (SCAN 25).

L'autre source d'information concernant les réseaux hydrographiques, est la BD Carthage. Celle-ci n'est pas aussi précise au niveau du tracé, elle est en revanche mieux structurée. Cette base 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. 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.



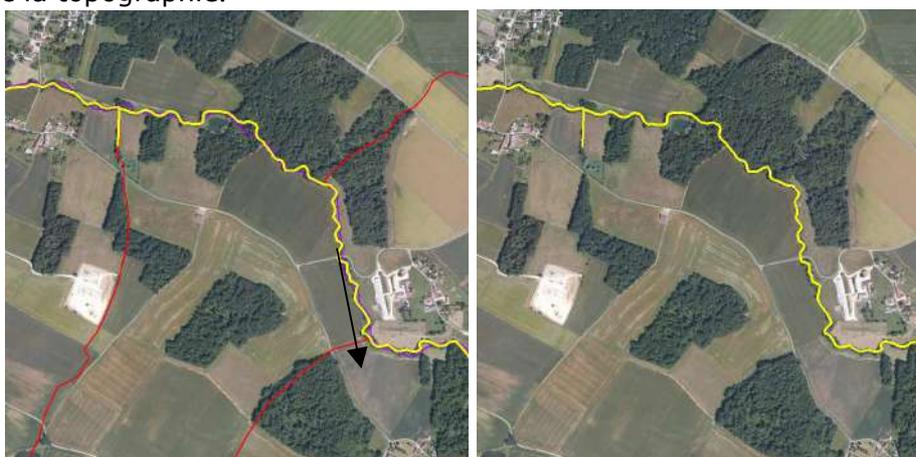
Sur cet exemple, on voit nettement que le tracé de la BD Carthage est moins précis à la même échelle que celle de la BD TOPO (en jaune). Il sera donc utilisé en priorité le tracé de la BD Topo.

Afin de rester cohérent, les tronçons de la couche TRONCONS_EAU ont ensuite été transformés en polygones pour ne former qu'une couche polygonale unique du réseau hydrographique global.



Le réseau linéaire a été « bufferisé » (en rouge) pour être assemblé aux données de la couche SURFACE_EAU de la BD TOPO afin d'obtenir une seule couche polygonale de l'ensemble du réseau.

La BD carthage prolonge 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 ou sont en cohérence avec la topographie.

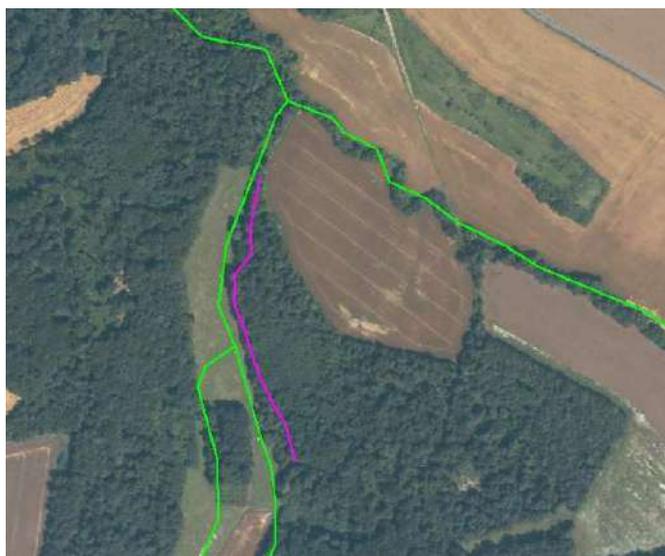


Dans l'exemple ci-dessus, le réseau rouge (à gauche) correspond aux tronçons supplémentaires par rapport à la BD Topo en jaune. Or on voit sur l'image de droite que des traces sont effectivement visibles sur la BD Ortho

Cette complémentarité a été conservée dans la mesure du possible par le rajout d'information provenant de la BD Carthage sur la BD Topo.
Cette opération est semi-automatisée car il s'agit de ne pas dupliquer la donnée : lorsqu'ils sont dans les 2 bases, les tronçons n'ont pas le même tracé. Un travail de contrôle manuel et visuel a donc été nécessaire.

Cas de combinaison de la BD Topo avec la BD Carthage :

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 et de les compléter selon les indications de la DB Carthage tout en recalant le tracé par rapport à l'image.



BD Topo (violet) + BD Carthage (vert)



Résultat du traitement et de la ré-interprétation des deux données

Le travail ne consiste donc pas en un simple assemblage des deux bases de données, mais plus d'un complément d'information de la BD Topo par photo-interprétation sur BD Ortho avec l'aide de la BD Carthage sur les endroits où le réseau est justement difficilement identifiable sur l'image.

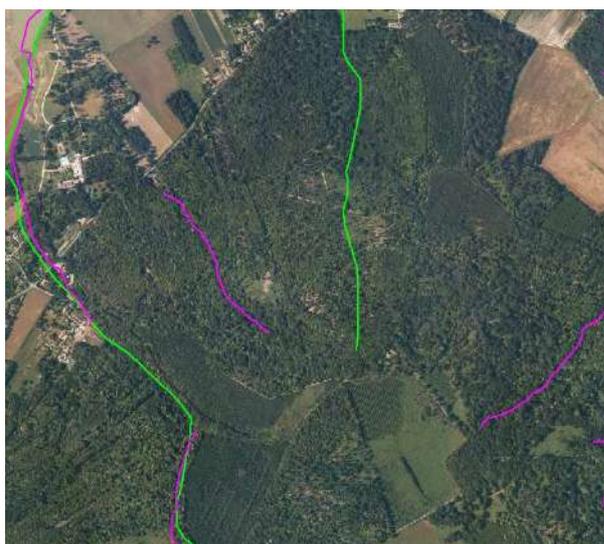


BD Topo (violet) + BD Carthage (vert)



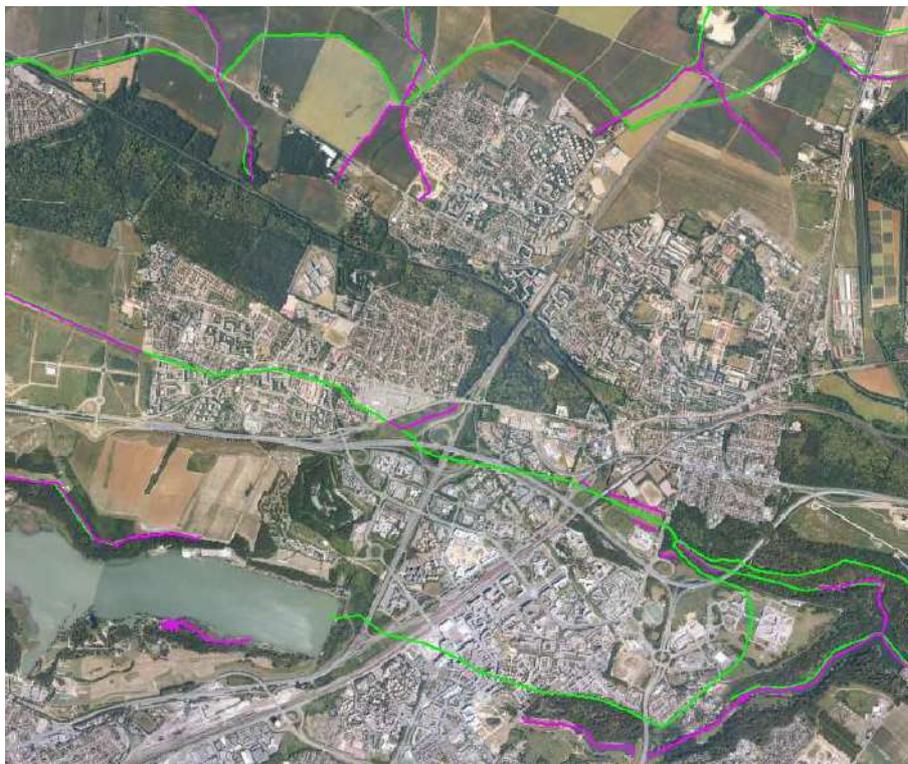
Résultat du traitement et de la ré-interprétation des deux données

Toutefois, 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.



Intégration de la BD Carthage dans les zones forestières

Enfin, dans les zones urbaines, la BD Carthage utilise parfois des tronçons « fictifs » pour relier les tronçons entre eux. Ces tronçons matérialisent les écoulements urbains (sous terrain ou non) qui ne sont pas à proprement parlé des cours d'eau. Il est donc important de ne pas les incorporer.



BD Topo (violet) + BD Carthage (vert) qui est très théorique

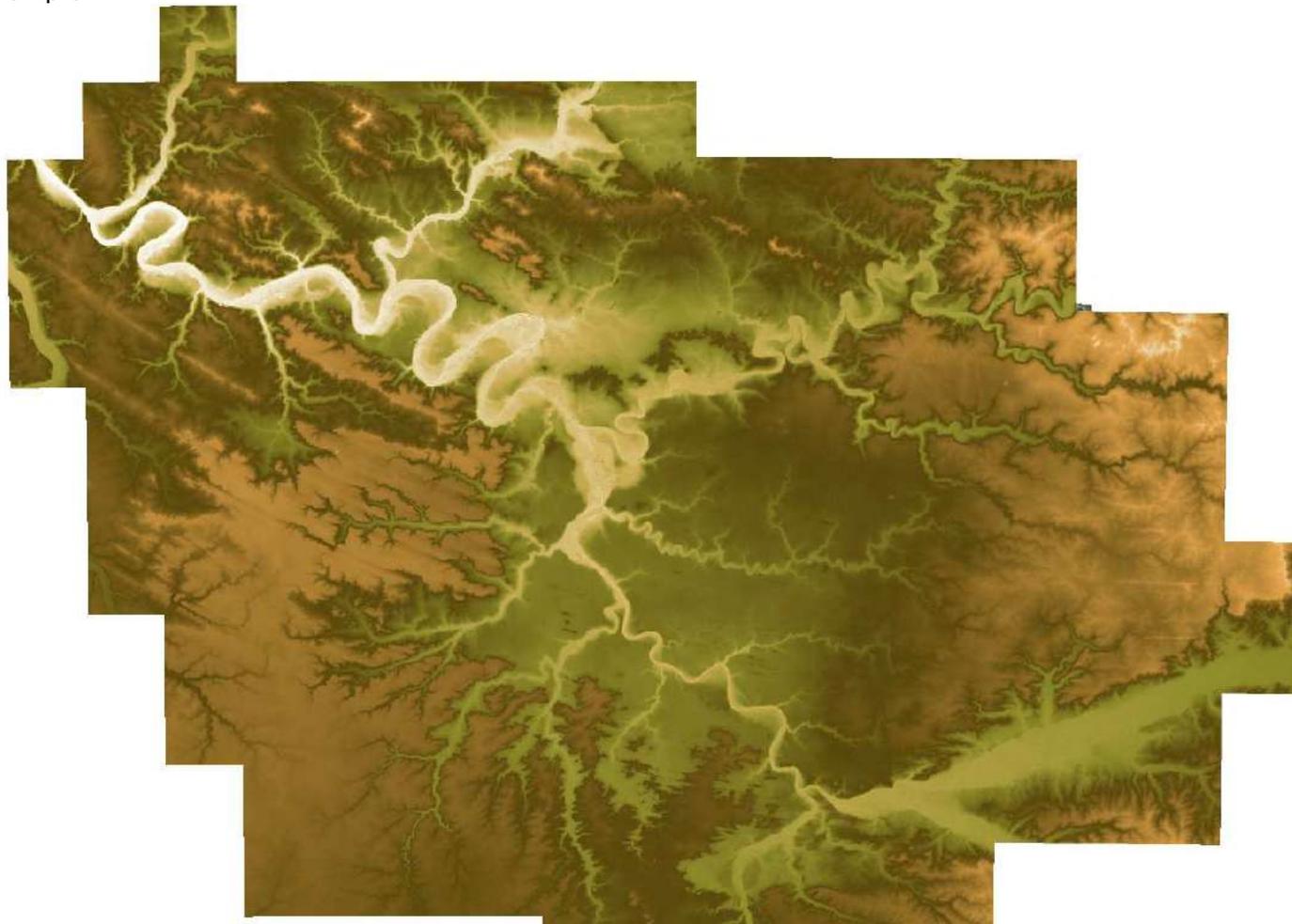


Résultat du traitement et de la ré-interprétation des deux données

Dans ce cas, le photo-interprète choisi les tronçons de BD Carthage qu'il considère comme non utiles à l'étude car totalement artificiels et il ne les intègre pas. On voit donc que le travail de synthèse, même s'il est issu d'un tri sur les attributs et d'une intégration partielle avec la BD Carthage, et avant tout un travail d'observation et d'analyse qui se réalise parfois manuellement par photo-interprétation.

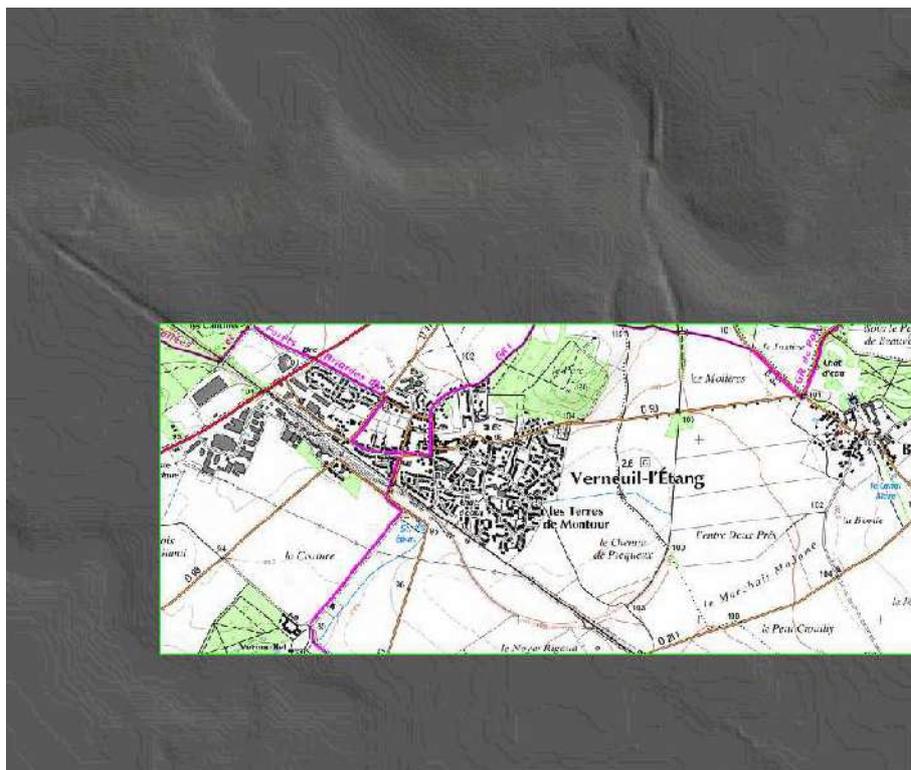
A.II.4.1.4 Les Pentes

Le MNT utilisé pour l'étude est le MNT issu de la BD TOPO, c'est à dire qu'il s'agit d'une interpolation des courbes de niveau présentes sur le SCAN25. Le pas du MNT est de 25 mètres ce qui ne signifie pas qu'il existe une mesure tous les 25 mètres mais qu'une interpolation des valeurs est faite tous les 25 mètres, soit deux fois pour des courbes espacées de 80 mètres par exemple.



Composition colorée MNT IGN sur la région Ile de France

La première conséquence est que sur les zones avec peu de relief, les courbes sur le SCAN25 ont une équidistance de 5 mètres avec la présence parfois de courbes intermédiaires à 2.5 mètres. De ce fait, les petites dépressions (< 2.5m de dénivelé) ne sont pas marquées dans le MNT. La seconde conséquence est la formation de surfaces planes entre les courbes telles que l'on peut les observer sur l'exemple ci-dessous. On a une structure en marche d'escalier formée d'une succession de valeurs égales suivie d'un saut de valeur. C'est le résultat d'une interpolation des valeurs entre les courbes sans utilisation des nombres à virgules comme résultat. Le MNT ne présente que des entiers homogènes sur de grandes surfaces.

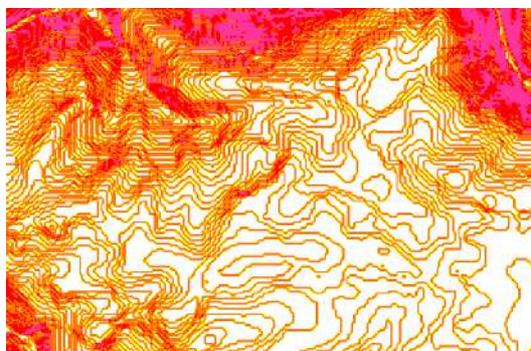


L'ombrage généré sur MNT IGN 25 m, montre bien les sauts de valeurs dont la trace correspond parfaitement aux courbes de niveau du SCAN25.

Le MNT présente par ailleurs des artéfacts 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.

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



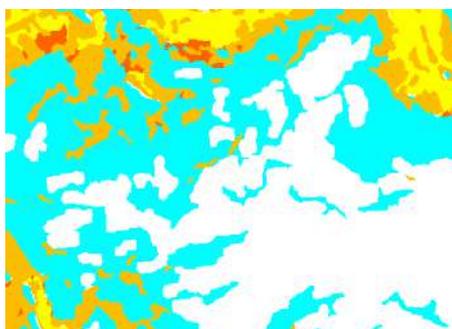
Les pentes générées sur MNT IGN 25 m font ressortir l'information d'origine : les courbes de niveau

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.



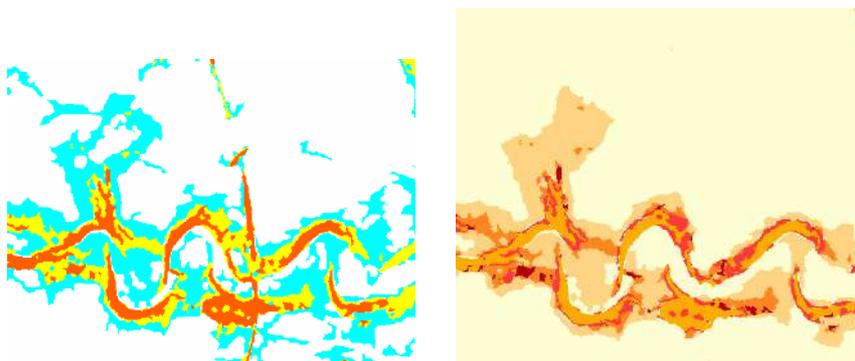
Exemple de deux types d'interpolation

S'agissant de surfaces relativement planes sur les plateaux par exemple, cela pose un problème. Pour palier ce problème d'interpolation en nombres entiers, nous avons utilisé un algorithme de calcul différent. La pente est calculée sur plusieurs pixels et non sur 2 pixels. C'est un avantage pour les faibles pentes, mais un désavantage pour les petits reliefs. Le résultat donne des plages de pentes et non des valeurs pour chaque pixel. Dans notre cas, cela facilite l'utilisation de cette information.



Les pentes générées sur MNT IGN 25 m avec une recherche élargie sont utilisables même s'il reste encore des plages (en bleu) qui sont encore liées aux peu de valeurs de l'interpolation.

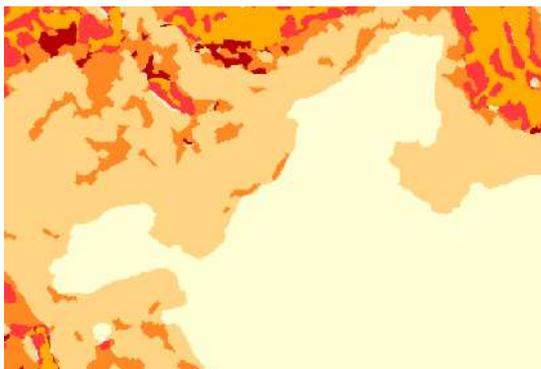
Le dernier travail consiste donc en un nettoyage manuel de la carte des pentes en enlevant les plages de faibles pentes (entre 0 et 2°) non caractéristique de la réalité en se basant sur les courbes et les ombrages et les réseaux hydrographiques du SCAN 25. Dans le même temps, afin de minimiser les erreurs liées à cette couche d'information, les artéfacts de routes ou de chemin de fer sont également supprimés.



Exemple de l'impact d'une route supprimée sur la carte de droite.

Le produit pente se présente sous forme d'une image dont la valeur des pixels correspond à la pente en degré. Le pixel a été filtré à 10 mètres pour caler avec la résolution de la couverture image AVNIR mais cela ne signifie pas que la précision de la carte de pente est de 10 mètres.

Les valeurs > 5° sont rassemblées en une même couleur car les analyses statistiques ont montré que la grande majorité des zones humides étaient sur des pentes <= 4 degrés.



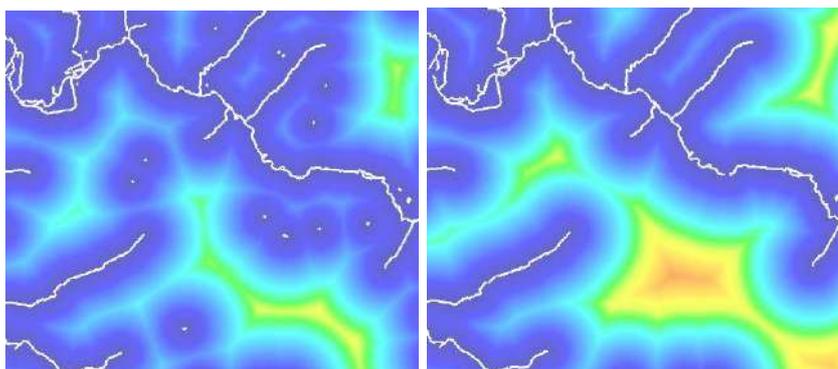
Carte simplifiée des pentes générée sur MNT IGN 25 m et corrigée manuellement. Les couleurs montrent les variations avec un pas de 1° du plus clair (0°) au plus foncé (> 5°).

A.II.4.1.5 Méthodologie de traitement des données pour créer l'enveloppe d'alerte

Cas des cours d'eau

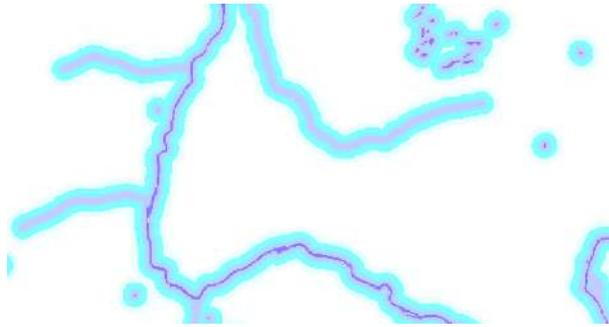
La première étape pour réaliser ce «buffer» a été de générer une carte de distance au cours d'eau. A ce stade, il n'est possible que de partir sur des hypothèses, mais la méthode de calcul de la distance par rapport au réseau est toujours identique. Cette carte a été réalisée à l'aide d'un algorithme qui permet de calculer pour chaque point la distance minimale au plus proche réseau

Cependant, le résultat était très variable en fonction des éléments servant au calcul. Ainsi, les surfaces en eau de petites taille (marres, étangs) ont tendance à altérer la qualité du résultat. C'est pourquoi, il a été décidé d'écartier les plans d'eau de ce calcul de distance afin de minimiser les artéfacts sur le «buffer» puis de créer un «buffer» spécifique autour des plans d'eau.

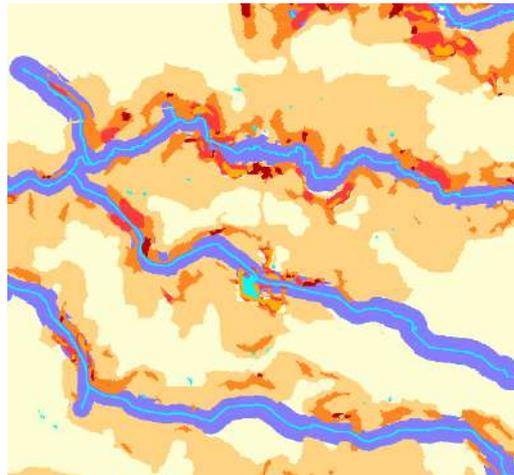


A gauche, on remarque la différence qu'engendre la présence des plans d'eau sur le calcul de la distance. Si l'on se rapporte proportionnellement à la surface de ces plans d'eau, l'impact sur le calcul est trop important.

Une fois le calcul de la distance réalisé, on peut produire une carte de « buffers » en utilisant toutes les distances souhaitées en regroupant les distances par seuils. Le résultat donne une enveloppe qu'il s'agit d'adapter au contexte local.



Une classification des distances permet de créer un ou plusieurs « buffers » d'une largeur fixe. Dans l'exemple ci-dessus, on met en évidence les limites des distances 50 , 100, 150 et 200 mètres par un dégradé de bleus.

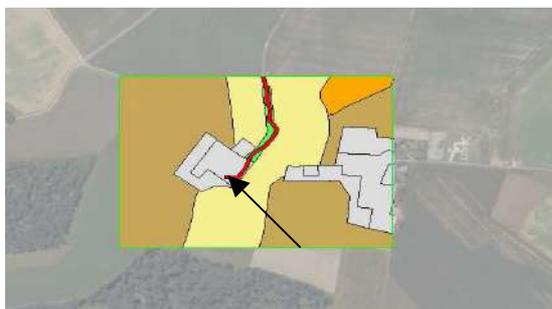


Exemple d'une «bufferisation» contrainte pas la pente. On considère que le «buffer» a une taille de zéro lorsqu'il est au contact avec une pente de 5° et plus et qu'il peut s'étendre sur 150 à 200 mètres sur une pente nulle.

Nous avons appliqué une « bufferisation » dépendante de la pente. Ainsi la taille du «buffer» diminue proportionnellement à l'augmentation de la pente. On retrouve alors l'idée qu'un réseau sur une surface plane peut suggérer une présomption de présence de zones humides plus large que dans une vallée encaissée.

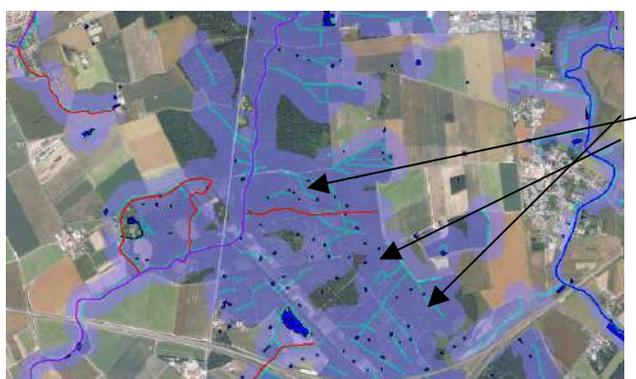
Le choix des distances ne répond pas forcément à une règle stricte. Une analyse des distances observées sur les parcelles de zones humides des inventaires à notre disposition montre que 90 % des zones humides strictes inventoriées par le CBNBP sont contenues dans un «buffer» de 150 mètres autour des cours d'eau. On peut donc considérer que la limite de 200 mètres est la taille maximale de «buffer» à utiliser pour prendre en compte toutes les zones humides de fond de vallées. On peut faire la même corrélation entre la pente et la présence de ces parcelles. Sur les statistiques obtenues, 80 % des zones humides strictes du CBNBP sont comprises entre des pentes de 0 à 3 °, et l'on peut faire un croisement de ces deux variables.

Il est alors possible de définir des règles de calcul de la taille du « buffer » en tenant compte de la distance et de la pente. La pente et la distance étant des mesures physiques, elles apportent un potentiel de présence de zone humide mais pas une confirmation.



La réduction du «buffer» au contact d'une zone artificialisée comme on peut le voir ci-dessus au niveau de la flèche, a été jugée impertinente par rapport à la notion de potentialité. En effet, les zones urbaines peuvent être localisées sur des sols de zones humides. Des reliquats de sols humides non urbanisés peuvent encore exister et sont à préserver. L'information d'urbanisation sera ajoutée en surcouche si nécessaire. Le fait de garder cette information dans une couche séparée par exemple qui en surimpression permettra d'ajouter une information quant à la pression s'exerçant sur les zones humides, leur degré de préservation, leurs enjeux et la nécessité de les préserver.

Cas des drains forestiers



un «buffer» de 150 à 200 mètres sur le réseau + les drains montrent que toute la forêt pourrait être classée avec un potentiel identique.

Le drainage important de certaines forêts laisse penser qu'affecter à ces surfaces une potentialité différente serait intéressante. Dans la figure ci-dessus un «buffer» de 150 à 200 mètres sur le réseau + les drains montrent que toute la forêt pourrait être classée avec un potentiel identique

Au final, Une analyse de la corrélation entre la pente et la présence des zones humides d'après les données existantes à permis de définir des tailles de «buffer» en tenant compte aussi de l'occupation du sol :

Tableau de calcul de la taille du «buffer» en fonction de la pente, de la distance et de l'occupation du sol

Pente	Occupation du sol	
	Agricole et urbain	Forestier
0°	150	200
1°	100	150
2°	75	100
3°	50	60
4°	25	30
5° et plus	0	0

A.II.4.2 Secteurs de présence potentielle de zones humides autour des 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.

A.II.4.2.1 Tri des informations

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

Le tri a été réalisé à partir du champ « Nature ».

Surface d'eau	Permanent	65.1	65.5
Surface d'eau	Permanent	65.1	65.1
Bassin	Intermittent	65.1	65.9
Bassin	Intermittent	65.1	65.3
Surface d'eau	Permanent	65.1	65.7
Surface d'eau	Permanent	65.2	65.8
Bassin	Intermittent	65.2	65.9
Bassin	Intermittent	65.2	66.7

Chaque polygone de la couche SURFACE_EAU possède des attributs propres qui en précisent la nature sans toutefois donner davantage d'information.

Le champ « Nature » contient deux attributs : « bassin » ou « surface en eau ». Ces deux attributs permettent de distinguer les « plans d'eau » selon leur caractère artificiel (avec connotation épuratoire) ou non.

Les mares creusées par les agriculteurs bien qu'artificielles sont caractérisées comme des « surface d'eau ». Les bassins à caractère industriels 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 eux comme des bassins.



Les bassins de stations d'épuration sont incorporés dans la BD Topo en tant que « bassin ».

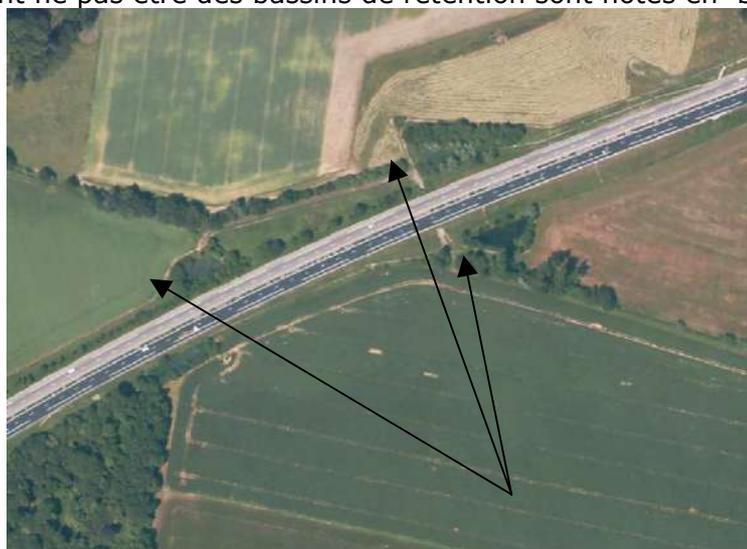
Cas des bassins de rétention



Bassins en bord de route

Une partie des bassins de rétention souvent présents le long des grands axes routiers sont codés dans la BD Topo en tant que « bassin ». Dans le cas ci-dessus, le fait que ces bassins soient identifiés (et donc éliminés) en tant que « bassin » est plutôt conforme à ce que l'on souhaite.

Cependant une autre partie des bassins de rétention reste en « surface d'eau ». Ainsi certains grands bassins de rétention ne sont pas codés en bassin. Par opposition, des plans d'eau proches des routes qui peuvent ne pas être des bassins de rétention sont notés en bassins.



Plans d'eau classés en bassins

Par exemple dans le cas ci-dessus, les plans d'eau sont identifiés (et donc éliminés) en tant que « bassin », ce qui est regrettable car on voit qu'une partie des terrains avoisinants sont retournés à des milieux naturels ou semi-naturels avec peut-être présence de zones humides.

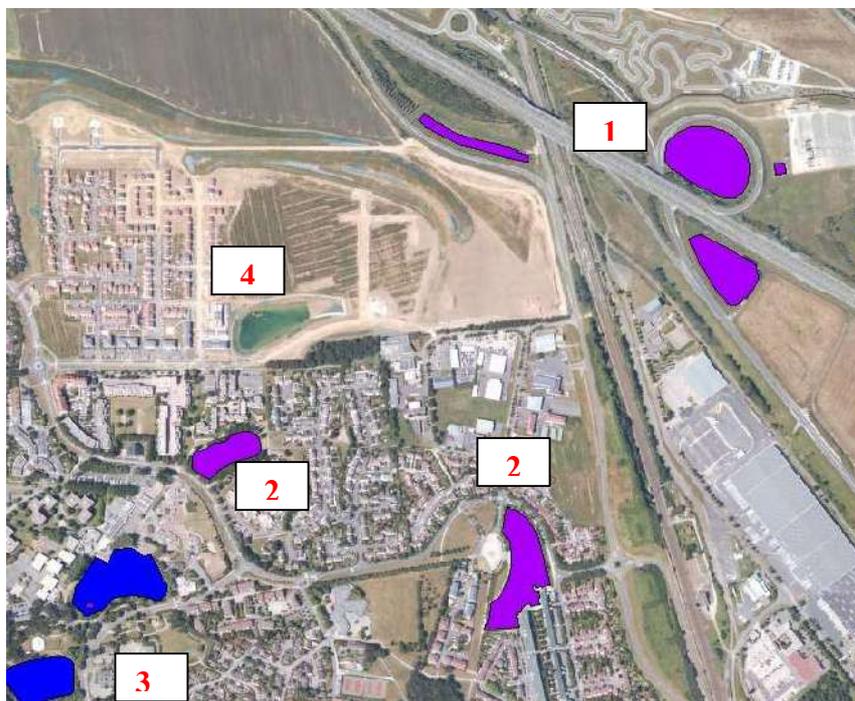
Complément manuel de la phase de tri des plans d'eau.

Comme nous l'avons vu, le tri par attribut n'est pas suffisant car les tables attributaires ne sont pas toujours pertinentes. Afin de palier à ce problème, il a été décidé de faire une vérification

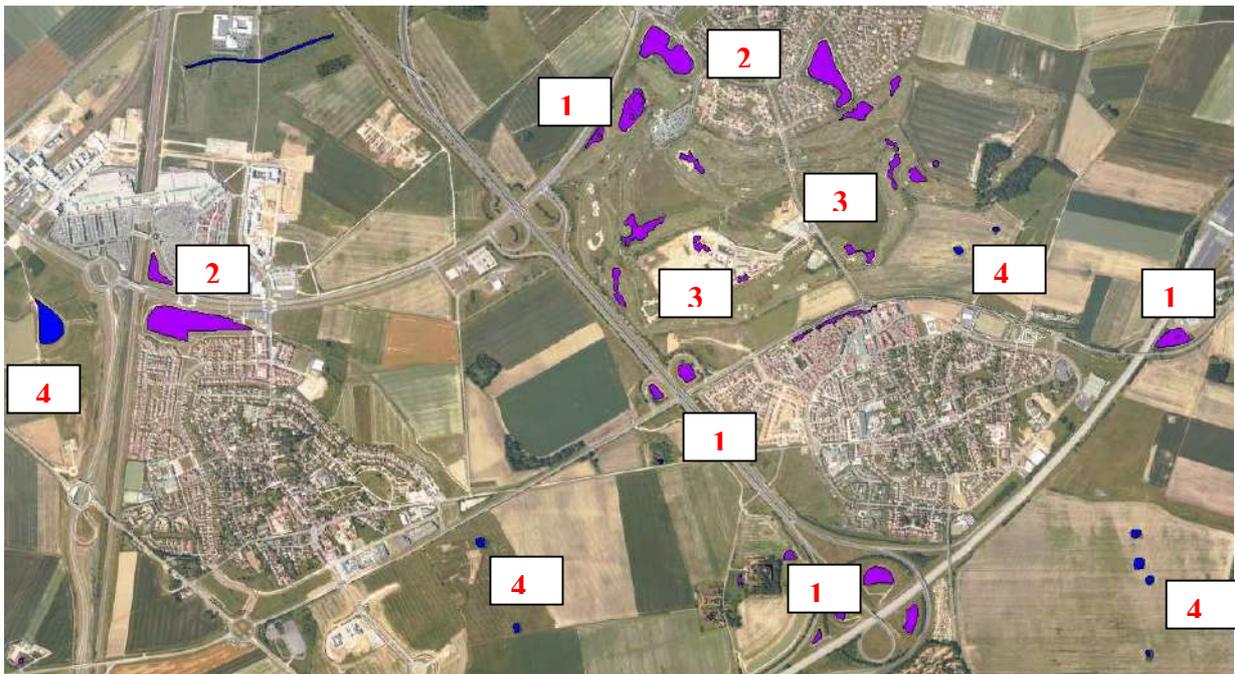
visuelle de toute la zone par un opérateur. L'opérateur a vérifié que dans les plans d'eau supprimés par requête, certains n'étaient pas à réintégrer, et inversement. Les critères de sélection des plans d'eau sont les suivants :

- . Pas de plan d'eau industriel artificiel (bassin de décantation, station d'épuration, etc.)
- . Pas de plan d'eau d'agrément (bassin urbain non végétalisé (hors pelouse) sur le contour, plans d'eau des golfs, etc.)
- . Pas de plan d'eau rattaché à une exploitation agricole (mare, bassin, etc. que l'on trouve derrière la ferme)
- . Pas de bassin de rétention quand il n'est pas végétalisé sur le contour (hors pelouse).
- . Pas de bassin à géométrie parfaite induisant une structure bétonnée

Dans l'exemple ci-dessous, on montre les polygones issus de la BD Topo (bleu et violet), puis la sélection qui a été faite par l'opérateur (on ne garde que les plans d'eau en bleu). Il est à noter qu'un plan d'eau récent n'est pas dans la couche BD Topo d'origine, mais étant donné son caractère artificiel, il n'a pas été mis à jour.



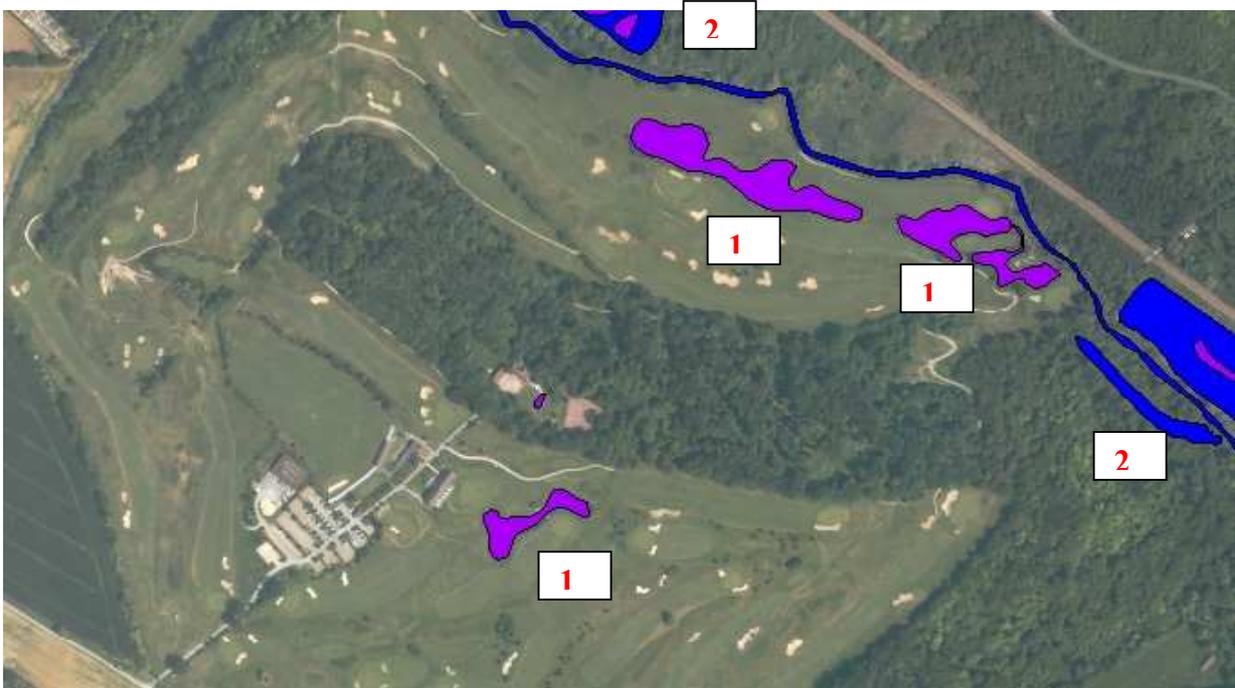
- Les bassins 1, sont des bassins de rétention ne comprenant pas de végétation plus ou moins naturelle sur le pourtour, ils sont donc éliminés.
- Les bassins 2, sont des bassins urbains d'agrément ne comprenant pas de végétation plus ou moins naturelle sur le pourtour, ils sont donc éliminés.
- Les bassins 3, sont des bassins urbains d'agrément comprenant de la végétation plus ou moins naturelle (parc) sur le pourtour, ils sont donc gardés.
- Le bassin 4, est un bassin urbain d'agrément en construction, il n'est donc pas mis à jour.



- Les bassins 1, sont des bassins de rétention ne comprenant pas de végétation plus ou moins naturelle sur le pourtour, ils sont donc éliminés.
- Les bassins 2, sont des bassins urbains d'agrément ne comprenant pas de végétation plus ou moins naturelle sur le pourtour, ils sont donc éliminés.
- Les bassins 3, sont des bassins d'agrément d'un golf, ils ne sont donc pas gardés.
- Les étangs 4, sont des plans d'eau dans les champs, ils sont donc gardés et mis à jour si nécessaire.



- Le bassin 1, est un bassin de rétention ne comprenant pas de végétation plus ou moins naturelle sur le pourtour, il est donc éliminé.
- Le bassin 2, est un plan d'eau rattaché à la ferme (type mare ou réserve d'eau), il est donc éliminé.
- Les autres plans d'eau sont gardés.



- Les bassins 1, sont des bassins d'agrément d'un golf, ils sont donc gardés.
- Les bassins 2, sont des plans d'eau naturels et sont donc gardés.

Note : les plans d'eau de golf sont totalement artificialisés et même s'ils sont entourés de végétation, ils sont régulièrement entretenus pour éviter un retour à l'état naturel. La présence d'une zone humide sur le pourtour du plan d'eau est donc nulle.

Cas de carrières et gravières

Les carrières et gravières sont largement représentées dans la BD Topo même si on voit que celles-ci ne sont pas à jour car de nombreux bassins se sont agrandis et d'autres ont été creusés à proximité.



Exemple de gravières avec un manque de mise à jour

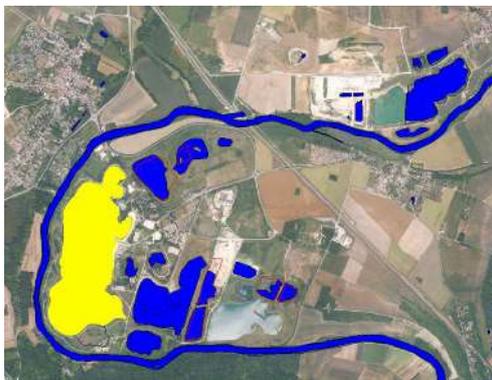
Le problème posé par ces gravières est qu'elles ne sont pas codées en tant que bassin mais en tant que simple surface d'eau et ne peuvent être séparées des autres plans d'eau naturels.

Le problème de mise à jour est plutôt positif dans le contexte de l'étude puisque celle-ci ne doit pas tenir compte des carrières et gravières en activité.

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 colonisés à nouveau par certaines espèces végétales entrant dans la classification donnée par le texte législatif concernant la définition des zones humides.

La sélection des gravières dans la couche « surface en eau » ne pose pas de souci dans la mesure où cette information ne servira qu'à créer autour des plans d'eau une couche « présence de zones humides à vérifier ». Elle ne servira pas à l'élaboration de la couche « présence de zones humides »

Il n'est pas possible, même par recoupement d'informations, de sortir l'ensemble des plans d'eau d'extraction minérale de la couche surface en eau. Mais on pourrait s'en approcher en faisant de multiples recoupements entre l'ECOMOS, la BD Carthage et la BD Topo. La fiabilité du résultat n'est pas complète. De plus certaines de ces surfaces en eau qui ne sont plus exploitées, retournent petit à petit dans la définition des zones humides.



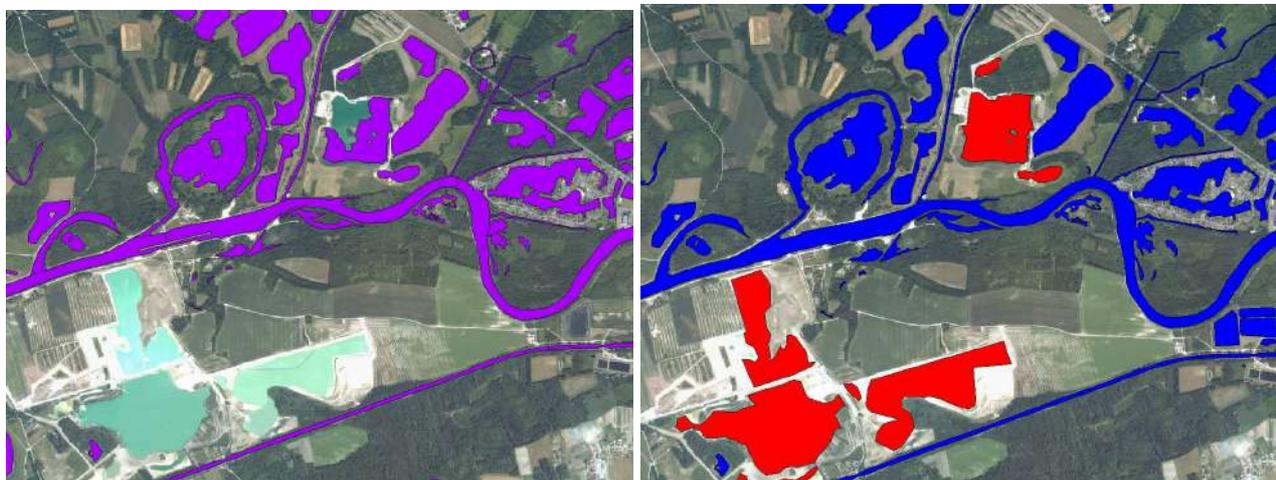
Dans le cas ci-dessus, les polygones bleus sont les « surfaces d'eau » de la BD topo, les polygones cerclés de rouges sont identifiés comme gravière ou sablières dans la BD Carthage tandis que les autres polygones (comme le jaune) y sont codés en tant que simple plan d'eau de commune.



Dans le cas ci-dessus, les polygones rouges sont codés en « plan d'eau permanent libre » (CLC6 = 512111) dans l'ECOMOS. Les limites ne sont pas à jour non plus, mais la plupart des plans d'eau d'extraction y sont représentés. En contre partie, les plans d'eau de parcs urbains par exemple sont aussi dans cette classe.

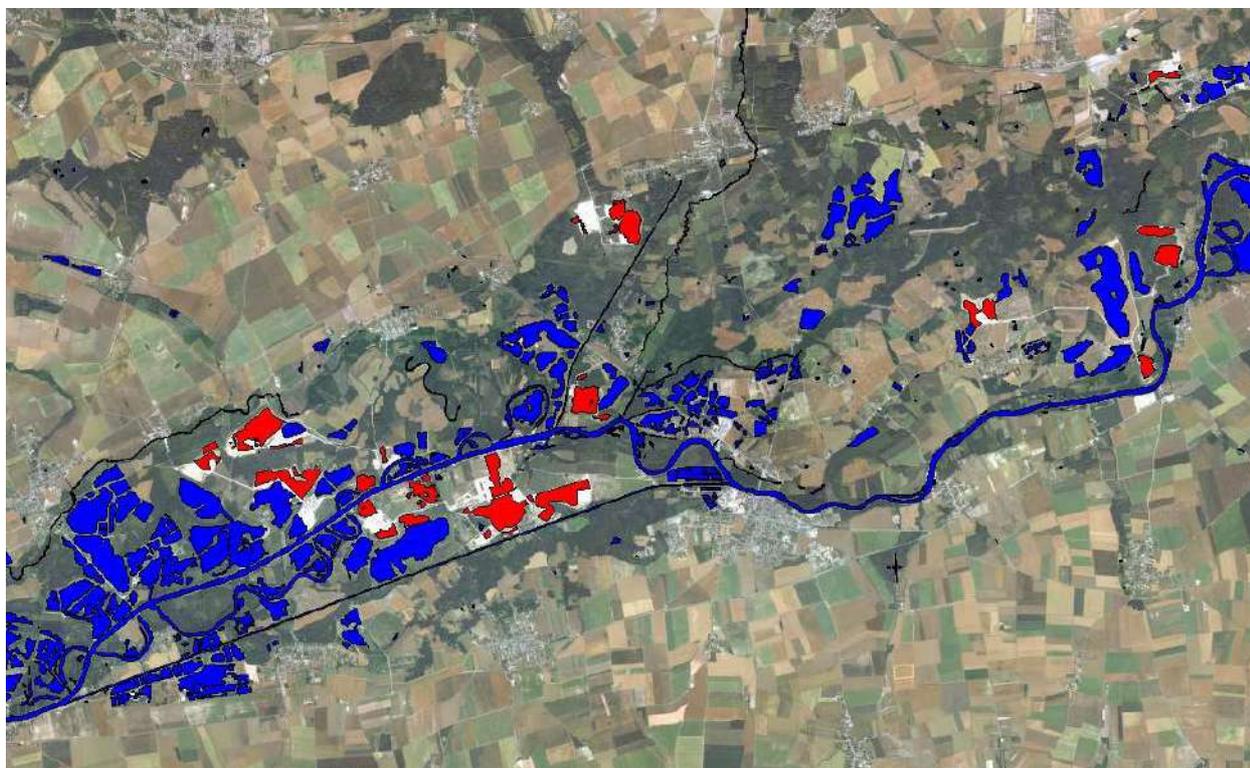
Travail de mise à jour de la donnée plan d'eau :

La BD Topo n'est mise à jour que tous les 5 ans (avec la mise à disposition d'une nouvelle BD Ortho) c'est pourquoi, sur les zones de gravières dont l'évolution est rapide, de nouveaux plans d'eau apparaissent ou s'agrandissent. Une mise à jour de ses plans d'eau a été réalisée mais on a distingué ses plans d'eau des autres car tant qu'ils sont en exploitation, la probabilité d'une recolonisation naturelle est exclue.



Cas d'une mise à jour des plans d'eau de gravières de la BD Topo

Dans un même temps, un codage des plans d'eau permet de différencier les gravières des autres plans d'eau. Cette information sera gardée dans la couche finale afin de montrer le caractère artificiel du plan d'eau mais également à retour possible à l'état naturel lorsque l'exploitation sera terminée.



Différenciation des gravières en activité parmi les plans d'eau

Enfin, certains plans d'eau (en 1 dans l'exemple ci-dessous) soient récents, soient oubliés dans la BD Topo, ont été mis à jour lors de la vérification de l'opérateur



Mise à jour des plans d'eau

A.II.4.2.2. Analyse et traitement des données

Après avoir trié les plans d'eau, il s'agit de les utiliser pour produire un « buffer » adapté au contexte, notamment en ce qui concerne l'occupation du sol avoisinante et la taille du plan d'eau lui-même. Il a été décidé que les plans d'eau auraient un « buffer » allant de 4 mètres jusqu'à 25 mètres en fonction de leur taille. Cette méthodologie part du principe que la présence d'un plan d'eau ne génère pas obligatoirement de zone humide dans sa proximité et que l'emprise du « buffer » doit rester raisonnable afin de ne pas surévaluer le zonage des zones humides potentielles.

Statistiques de surfaces des polygones de la couche SURFACE_EAU de la BD Topo:

- . 5257 sont entre 1 et 250 m²
 - . 4456 sont entre 250 et 550 m²
 - . 2396 sont entre 500 et 750 m²
 - . 1455 sont entre 750 et 1000 m²
 - . 1526 sont entre 1000 et 1500 m²
 - . 949 sont entre 1500 et 2000 m²
 - . 1066 sont entre 2000 et 3000 m²
 - . 614 sont entre 3000 et 4000 m²
 - . 381 sont entre 4000 et 5000 m²
- le reste est > 5000² mais comprend aussi des morceaux de cours d'eau.

Pour information, un petit plan d'eau d'extraction minérale fait environ 8000 m² et les plus grands vont jusqu'à 750000 m².

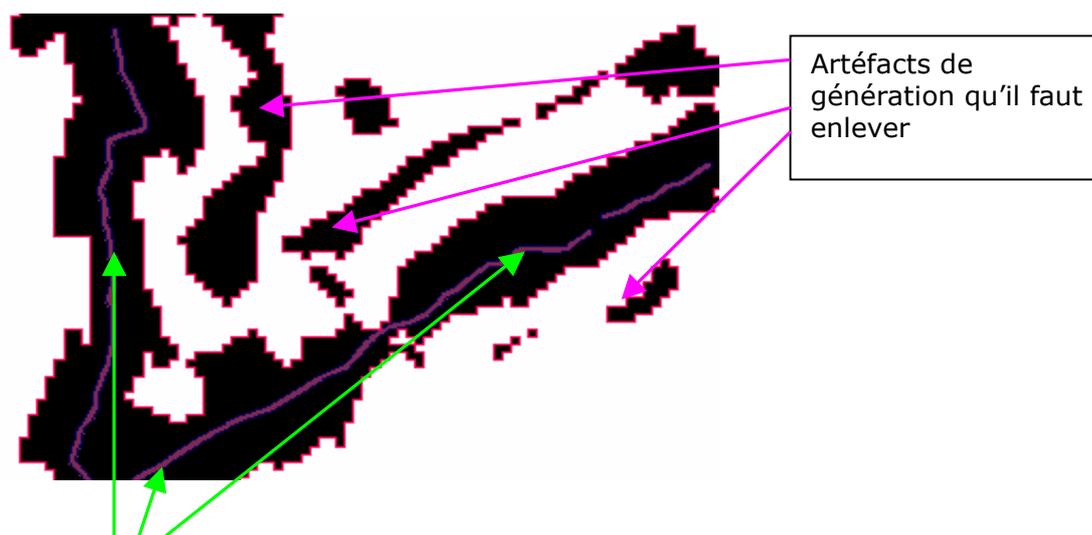
La règle de calcul du « buffer » sera la suivante : Il a été fixé de manière arbitraire une largeur de «buffer» minimale de 4 mètres minimum pour toute surface en eau inférieure à 250 m² et une largeur de «buffer» maximale de 25 mètres pour les surfaces en eau de plus de 1000 m². Pour les plans d'eau ayant des surfaces intermédiaires, une fonction linéaire a été appliquée entre les deux seuils extrêmes pour déterminer la largeur du « buffer ».

A.II.4.3 Secteurs de présence potentielle de zones humides autour du réseau hydrographique linéaire

Cette étape consiste à fusionner les deux « buffers » « plans d'eau » et « cours d'eau » pour ne donner qu'un seul « buffer » représentant une enveloppe de présomption de présence de zone humide.

Pour pratiquer la fusion, le « buffer » des cours d'eau qui est initialement en image avec un pixel à 10 mètres, doit d'abord être vectorisé et nettoyé.

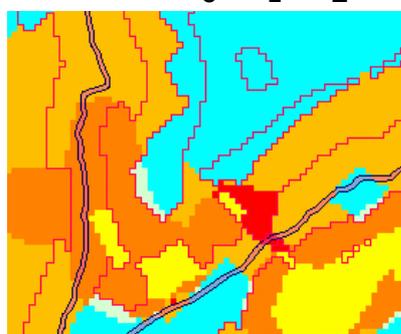
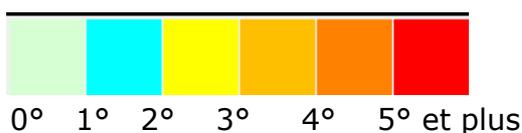
A chaque couleur correspond une largeur de «buffer», donc on obtient ce résultat :



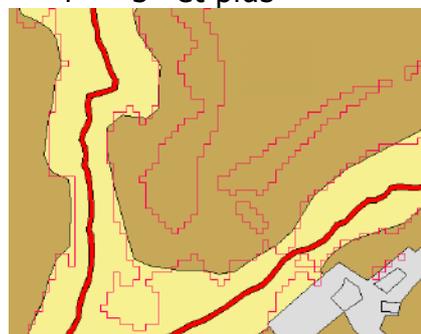
Vrai «buffer» du réseau hydrographique

Le processus de calcul affecte une valeur « 1 » au plan binaire quand les pixels distance et pente remplissent les conditions évoquées plus haut. Il est donc normal d'avoir des zones qui se créent derrière le « buffer » proprement dit car elles remplissent les conditions à l'exception qu'elles ne sont plus en contact direct avec le réseau hydrographique. Il est donc nécessaire d'éliminer ces excroissances de « buffer ». Pour cela, on utilise un algorithme semi-automatique qui permet de trier et recouper les limites selon une logique de contact avec le réseau.

Couleurs des pentes :



Processus de «bufferisation»



Résultat vectorisé et nettoyé

B. IDENTIFICATION DES SOLS POTENTIELLEMENT HYDROMORPHES A PARTIR IMAGES SATELLITALES

Cette partie intervient après une première phase qui consistait à effectuer une synthèse et une analyse de données exogènes d'inventaires dans lesquels des critères relatifs aux zones humides sont susceptibles d'être pris en compte et de données autres à partir desquelles une analyse, ou un traitement, permet d'extraire indirectement une information sur les zones potentiellement humides. Pour tenter de compléter cette compilation d'informations exogènes et hétérogènes, il s'agissait dans un deuxième temps de tester et d'évaluer l'apport de l'imagerie satellitale pour préciser la définition et la localisation des zones humides.

En effet, la synthèse des données existantes a montré que les diagnostics de zones humides ont déjà été initiés sur la région Île-de-France. Ces derniers sont basés essentiellement sur une analyse de la végétation (l'un des deux porte essentiellement sur l'analyse de la végétation qui est l'un des deux critères de définition des zones humides) pour identifier le caractère humide des parcelles. Les seuls inventaires disponibles sur la caractérisation des types de sol (le second critère de définition des zones humides) sont les cartes pédologiques mentionnées précédemment. Cependant, certaines ne sont pas réalisées à une échelle assez précise (Carte au 1/ 250 000^{ème} couvrant toute la région IDF ou carte au 1/100000^{ème} sur le secteur de Meaux) pour permettre une délimitation des zones humides, que ce soit en terme de connaissance ou en terme d'application de la police de l'eau.

Hors, d'après la bibliographie, l'analyse des images satellitales fournirait des informations sur l'humidité du sol en surface (Petropoulos et al, 2009). D'après Baghdadi et al, les images radar permettraient également une estimation de l'humidité de surface du sol.

L'objectif de la présente étude est donc de tester l'intérêt de l'utilisation des images satellitales pour identifier des sols potentiellement hydromorphes. A partir d'une analyse sur deux bassins versants (Yerres et les Morins) d'images satellitales, l'étude essaie de montrer si des liens existent entre les informations fournies par les images satellitales et la nature humide du sol selon les critères de la loi DTR. L'objectif est de répondre dans le cadre de cette analyse *a minima* aux questions suivantes :

Dans quelle mesure l'utilisation des images satellitales permettent-elles :

- De délimiter les unités de sols humides au sein des unités cartographiques de sol ?
- De compléter l'information dans les secteurs où le maillage d'habitats humides est ponctuel : liaison entre habitats ?
- D'améliorer la connaissance sur la teneur en eau des sols et la localisation des secteurs à enjeux ?

B.I LA TELEDETECTION SATELLITALE

La télédétection est un outil extrêmement pertinent pour dresser 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 plus part du temps dans un Système d'Information Géographique (S.I.G.).

Toute étude de télédétection implique au moins trois ensembles d'opérations étroitement liés entre-eux (Bonn et Rochon, 1993) :

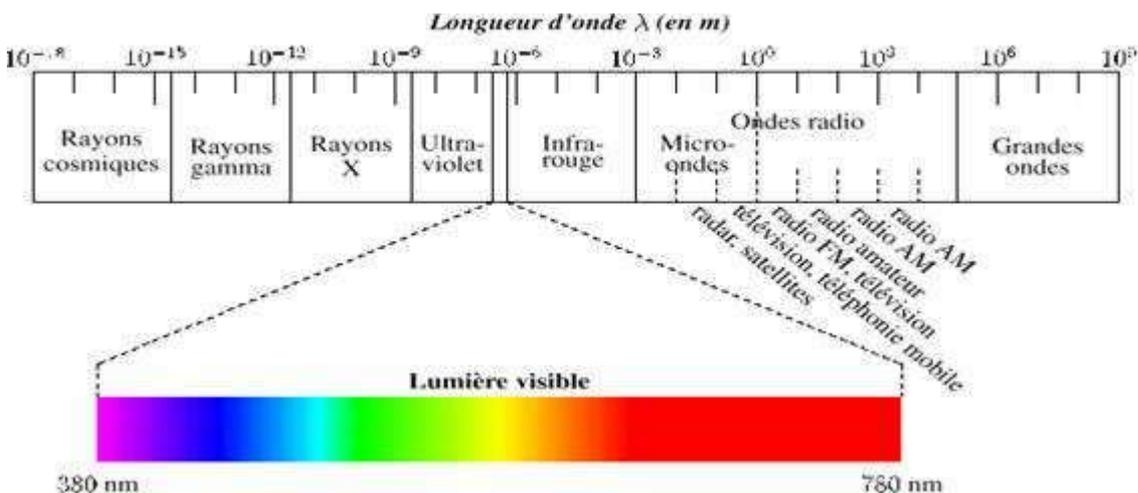
- **l'acquisition des données** de télédétection et des données complémentaires,
- **le traitement et l'analyse** des données afin d'extraire les informations utiles,
- **la présentation des informations** dans des formats standards, ainsi que la diffusion de ces informations ou l'intégration de celles-ci dans des systèmes de gestion de l'information.

Les deux premières étapes sont explicitées dans la partie B.II du présent rapport. La présentation des informations est plutôt traitée dans la partie C.

B.I.1. Définition

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).

Notions de base de télédétection optique-infrarouge et radar



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

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

B.I.2. Lois générales concernant le rayonnement

Le rayonnement correspond à un transfert d'énergie par des oscillations rapides de champs électromagnétiques. Ces ondes sont composées de photons et dans le vide, toutes les ondes électromagnétiques ont la même célérité $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.

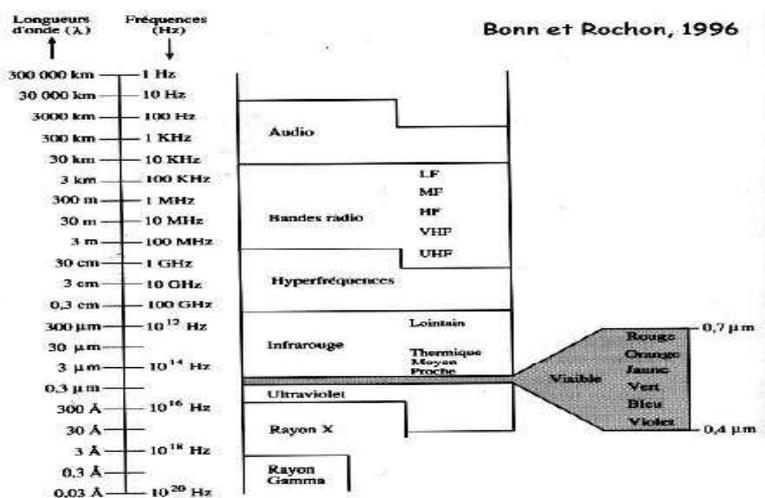
L'onde de base a cinq caractéristiques principales.

- sa fréquence (ν) ou longueur d'onde (N) avec $N = c/\nu$ où c est la célérité de la lumière dans le vide et ν sa vitesse dans le milieu considéré
- l'amplitude
- la phase
- la polarisation
- la direction de propagation

Ce qui va caractériser ces rayonnements, c'est leur longueur d'onde. La longueur d'onde (Unité métrique) est la distance parcourue par le front de l'onde se déplaçant à la célérité c (m/s), en une période T (s).

B.I.2.1. Les différentes longueurs d'onde

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



Les rayons gamma ont une longueur d'onde inférieure à 0,03 nm (nanomètres). Ces rayons du fait de leur très petite longueur d'onde sont totalement absorbés par la haute atmosphère et ne parviennent donc pas au sol. Ils ne sont donc pas intéressants pour la télédétection.

Les rayons X ont une longueur d'onde comprise entre 0,03 et 3 nm. Les rayons X, comme les rayons Gamma ne parviennent pas jusqu'au substratum. Ils sont en effet totalement absorbés par l'atmosphère.

Les rayons ultraviolets ont une longueur d'onde qui est comprise entre 3 et 400 nm. Ceux compris entre 3 et 300 nm sont totalement absorbés dans la haute atmosphère par l'ozone. On

peut détecter ceux supérieurs à 300 nm au niveau du sol malgré une diffusion atmosphérique très importante.

Le rayonnement visible est celui qui intéresse l'œil humain. Il couvre une bande spectrale qui va de 0,4 à 0,72 µm.

Le rayonnement infrarouge se situe de 0,7 à 1000 µm. On peut le décomposer de la manière suivante :

- **le proche infrarouge** qui va de 0,7 à 1 µm est constitué par la radiation solaire réfléchie
- **le moyen infrarouge** de 1 à 3,5 µm
- **l'infrarouge thermique** de 3,5 à 14 µm
- **l'infrarouge lointain** au-delà de 14 µm est constitué par le rayonnement émis par la surface de la terre et n'est pas utilisé par la télédétection.

Le rayonnement Micro-ondes

Au-delà et à partir de 3 mm (jusqu'à une fréquence de 100 GHz), c'est le domaine des micro-ondes que l'on appelle aussi les ondes radar. Ce domaine est extrêmement intéressant et en plein développement surtout depuis le lancement des satellites ERS1, JERS, RADARSAT puis plus récemment le radar PALSAR du satellite ALOS. Ces longueurs d'onde sont sensibles à la constante di-électrique du sol, qui elle-même est fortement influencée par l'humidité du sol. L'information que l'on peut en extraire concerne les premiers centimètres situés à la surface du sol.

Entre 3,5 et 5 mm une part importante du rayonnement peut être du rayonnement solaire réfléchi. Entre 8 et 14 mm, l'énergie mesurée correspond principalement à de l'énergie émise par la terre.

Dans le cadre de la présente étude, les rayonnements qui permettent d'identifier les sols potentiellement humides sont les rayonnements visibles, infrarouge et micro-onde. Pour l'infrarouge, l'infrarouge lointain n'est bien sûr pas utilisé en télédétection.

B.I.3. La luminance

C'est l'intensité de rayonnement émis par unité de surface dans une direction donnée.

La luminance enregistrée au niveau d'un pixel est influencée par :

- la surface du sol
- de l'état de l'atmosphère
- de l'angle de visée
- de la position du soleil

La luminance d'une surface est égale à la somme des luminances de chaque objet contenu dans un pixel ramené à son taux de couverture. Par exemple, pour une surface donnée, la luminance totale (LT) sera :

$$LT = VLV + OLO + SLS$$

L_V = luminance de la végétation

V = % occupé par la végétation

L_O = Luminance de l'ombre

O = % occupé par l'ombre

L_S = Luminance du sol

S = % occupé par le sol

On parlera de luminance d'une surface lorsqu'il s'agit de la valeur radiométrique enregistrée au niveau du satellite.

- La Luminance réelle est celle enregistrée au niveau du calibre interne.
- La Luminance apparente est celle enregistrée par les capteurs.
- La réflectance, c'est la luminance en pourcentage.
- La réflectance exo-atmosphérique, c'est celle qui tient compte des effets atmosphériques ainsi que de l'angle entre le rayon incident provenant de la source lumineuse et le rayon réfléchi enregistré par le capteur.

D'autres part, le terme de **Réfectance** est utilisé pour le rayonnement électromagnétique lorsque celui-ci est compris entre 0,36 et 3 μm . C'est à dire du visible (0,36 à 0,72 μm) au moyen infrarouge (1,3 à 3 μm), en passant par le proche infrarouge (0,72 à 1,3 μm).

Dans le domaine de l'infrarouge (3 à 5 μm) et du thermique (8 à 14 μm), on parlera plus volontiers de **Température de Brillance**.

Dans le domaine des micro-ondes (onde Radar de 3 mm à 1 m), on emploiera le terme d'**Émittance** pour les mesures effectuées par un télémètre et de **Rétrodiffusion** lorsque les mesures sont enregistrées par un radar.

B.I.4. Propriétés optiques des végétaux, de l'eau et du sol

Les propriétés spectrales des végétaux et du sol vont impacter sur la réponse enregistrée au niveau du satellite par le capteur. Nous montrons dans cette première partie comment ces propriétés vont modifier la valeur enregistrée et l'impact que peut avoir leurs natures sur l'information que nous exploiterons dans l'analyse qui s'en suivra, notamment en ce qui concerne l'humidité de surface.

Toutes les plantes chlorophylliennes ont des feuilles qui présentent une courbe de réflectance de même forme en fonction des longueurs d'onde. Les différences apparaissent non pas dans la forme mais dans l'amplitude de la courbe.

B.I.4.1. Propriétés selon le domaine spectral

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

- Dans **le domaine du visible**, les feuilles ont une faible réflectance car la majeure partie du rayonnement est absorbée par les pigments foliaires (chlorophylle, carotène, xanthophylles et anthocyanes). Dans cette partie du spectre, l'absorption est maximum dans le bleu et le rouge et la réflectance maximum vers 550 nm (ce qui correspond au jaune-vert).
- Dans **le proche infrarouge** (voir le début du moyen infrarouge) (de 700 à 1300 nm). Les végétaux chlorophylliens ont une réponse importante dans cette gamme de longueur d'onde. La quantité du rayonnement absorbée par la feuille est au maximum de 10 % et la réflectance avoisine les 50 %.
- Dans **l'infrarouge moyen** (1300-2500 nm) c'est essentiellement l'eau contenue dans les feuilles qui va modifier les propriétés optiques des végétaux et donc la réflectance. Il existe au-delà de 1300 nm des bandes d'absorption maximum du rayonnement par l'eau. Cependant, il faut noter qu'à 1650 et 2200 nm la teneur en eau des feuilles influencent la réflectance (qui augmente). Ces seuils correspondent aux canaux 5 et 7 de Thematic Mapper.
- Dans **l'infrarouge thermique**, les quelques mesures qui ont été faites montrent que la réflectance des feuilles varie de 1 à 6 % en fonction de l'angle d'incidence et de l'espèce considérée.

B.I.4.2. Les facteurs modifiant les propriétés optiques des feuilles

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

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

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

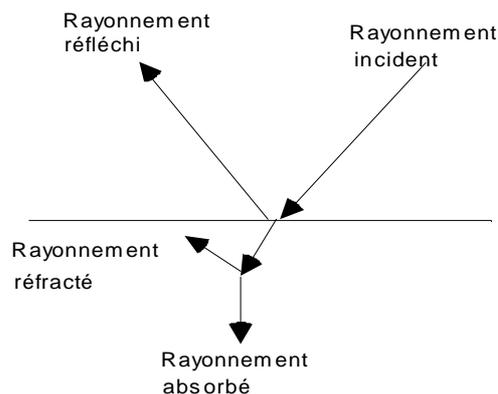
Il existe également d'autres facteurs qui peuvent modifier la réflectance des feuilles. C'est le cas notamment des déficiences minérales qui affectent la quantité de chlorophylle ainsi que leur structure. Les cas les plus courants concernent la déficience en fer et en azote.

Les attaques parasitaires modifient également les propriétés optiques des feuilles que ce soit dans le visible ou dans l'infrarouge selon le type d'attaque.

La discrimination de zones humides ne sera possible que si les éléments présents au niveau du sol présentent des caractéristiques particulières permettant de les différencier des autres milieux non humides. Les éléments que l'on peut rencontrer en dehors des zones urbanisées sont l'eau, les sols et la végétation. Il est important de bien comprendre comment ces éléments peuvent intervenir au niveau de la réflectance. Cette compréhension permettra de mieux aborder l'analyse qui sera faite de ces images.

B.I.4.3. Les surfaces en eau

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



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

On distingue principalement 4 catégories principales de substances :

- le phytoplancton
- les particules minérales en suspension
- la matière organique dissoute.
- les substances chimiques polluantes (hydrocarbures ou autre)

Chacune de ces substances influence la réponse radiométrique ce qui explique que sur une même image, des plans d'eau peuvent apparaître sous une multitude d'intensité différentes dans les bandes radiométriques.

B.I.4.4. Les sols

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

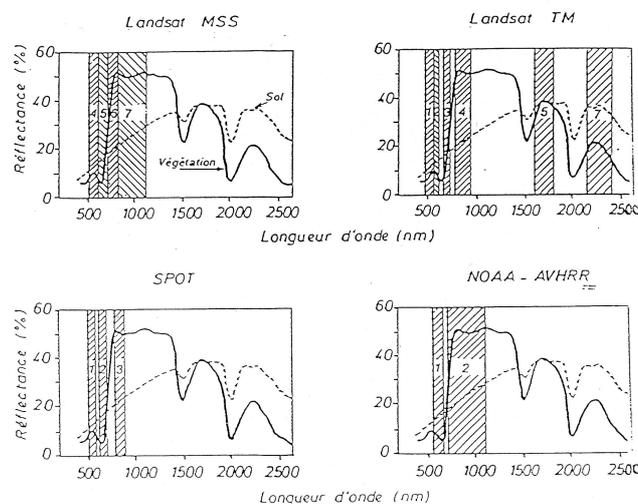
L'humidité des sols en surface affecte la réflectance de ceux-ci dans tout le domaine spectral. La réflectance d'un sol dans le visible et le proche infrarouge est fonction de son humidité. Humides. Ce n'est pas seulement l'absorption de l'eau qui joue un rôle prépondérant mais les interfaces air-eau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

Cette diminution de la réflectance provient du fait que la réflectance du complexe air-sol est plus élevée que air-eau. En effet, les petites gouttelettes d'eau viennent remplir les cavités du sol. L'humidité dont nous parlons est l'humidité superficielle du sol.

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

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

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



Ces courbes montrent qu'un sol ou un même type de végétation répond différemment selon la longueur d'onde choisie.

La présence d'eau dans les premiers centimètres du sol va donc modifier la réponse enregistrée au niveau du capteur du satellite. Ceci est particulièrement vérifié pour les longueurs d'onde des proche et moyen-infrarouge et des micro-ondes (radar).

Qualités intrinsèques des canaux en fonction des longueurs d'onde

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

B.II EVALUATION DE LA PERTINENCE DE L'UTILISATION DES IMAGES SATELLITALES SUR UNE ZONE TEST

B.II.1 Objectif recherché et localisation des zones test

L'objectif est de répondre à la question de « l'apport des images satellitales pour la délimitation de zones potentiellement humides ». Dans les secteurs où le critère végétation ne s'exprime pas, l'objectif est d'analyser si une interprétation des images satellitales, croisée avec les informations disponibles pourrait être un moyen pour compléter cette information.

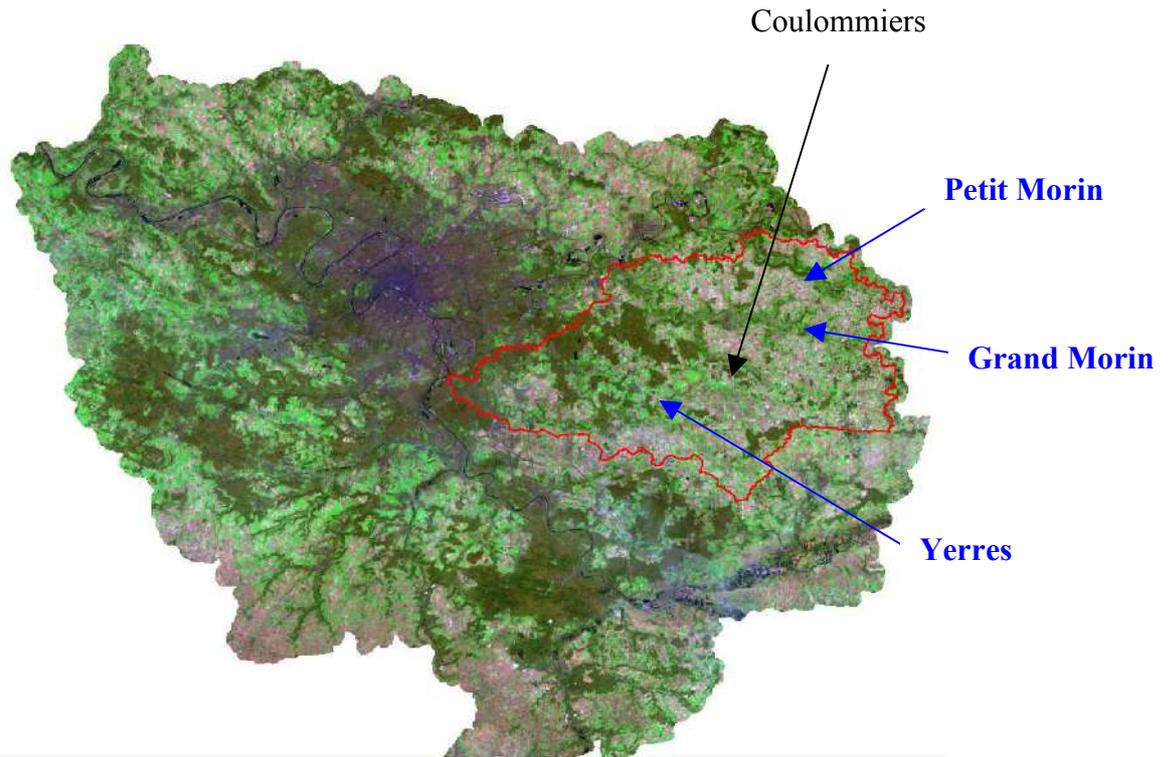
B.II.1.2 Localisation de la zone test

La zone test a été choisie par la DIREN. Les critères de choix quant à la localisation de cette zone étaient :

- D'une part, le budget disponible pour l'étude et les contraintes de coût imposées dans l'offre. Ces contraintes imposaient pour le montant de l'étude le choix de bassins versants adjacents. Il aurait été intéressant de pouvoir comparer dans le cadre du test des bassins versants situés dans des contextes géologiques et hydrologiques différents. Cependant cela n'était pas possible dans le budget imparti.
- D'autre part, Le contexte local : la zone test a été choisie car elle est couverte par deux SAGES et correspond à un secteur présentant des informations locales riches et variées.

La zone test correspond à la limite des 3 bassins versants suivants situés majoritairement dans le département de Seine-et-Marne.

- Bassin du Grand Morin
- Bassin du Petit Morin
- Bassin de Yerres



B.II.2 Choix des images satellitaires

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

. La définition de l'image

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

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

. Les canaux disponibles

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

. La date de prise de vue

Elle doit être en relation avec la thématique à extraire. Ce paramètre est d'autant plus important que le thème étudié évolue rapidement.

B.II.2.1 Les images visibles et infrarouges

L'idée ici n'est pas de faire une description exhaustive de l'ensemble des données disponibles, mais de présenter les principales images qui ont été utilisées pour réaliser l'étude.

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

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

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

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

En accord avec les membres du comité de suivi, il a été décidé de travailler de préférence avec les données AVNIR/ASTER, qui ont un meilleur rapport entre la pertinence pour cette étude et le coût que les images Spot.

En effet, les images AVNIR/ASTER ont des qualités similaires voir meilleures pour les besoins de l'étude. Alors que la bande Infra-Rouge de spot 5 est d'une résolution de 20 mètres initialement, et celle d'AVNIR est de 10 mètres. Une comparaison technique entre AVENIR/ASTER et SPOT 5 est fournie en Annexe 7.

D'autre part, le prix des images peut varier d'un facteur de 1 à 30 comme par exemple entre les images ASTER et les images SPOT 5. Choisir des images moins chères, permet d'en acheter plus (à des dates différentes) et donc de multiplier le gain d'information (caractéristique des images Spot en Annexe 7). Enfin, il est préférable de ne pas utiliser d'images mixées PAN + MS (c'est le cas pour les images SPOT 5 m couleur de résolution inférieure à 10m) en traitement d'image car le gain de précision qu'apporte cette technique ne compense pas la modification de l'information radiométrique.

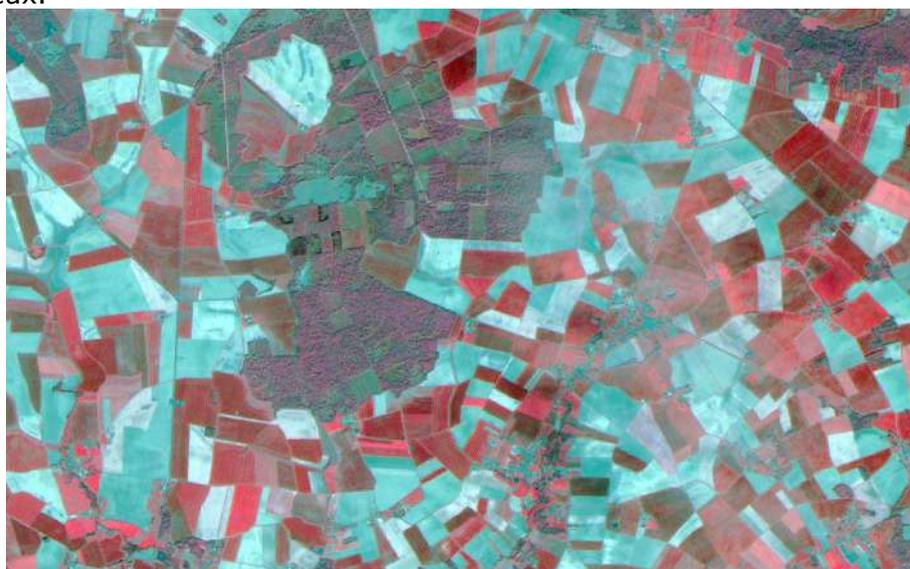
. Les données AVNIR du satellite ALOS

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

Les caractéristiques du satellite sont fournies en Annexe 8.

Wave length in μm													
	ultra violet	violet	blue	green	yellow	orange	red	near IR	middle IR	Thermic IR	Far IR	Radar	
< 0.03	0.030 to 0.300	0.300 to 0.400	0.400 to 0.445	0.445 to 0.492	0.492 to 0.577	0.577 to 0.622	0.622 to 0.700	0.70 to 1.100	1.550 to 2.500	8.000 to 14.000	14.000 to 2000.0	2000.0 to 300000	> 300000
				1	1	2	2	3	3	4			

Chaque bande peut apporter des éléments qui permettront une meilleure discrimination des différents milieux.



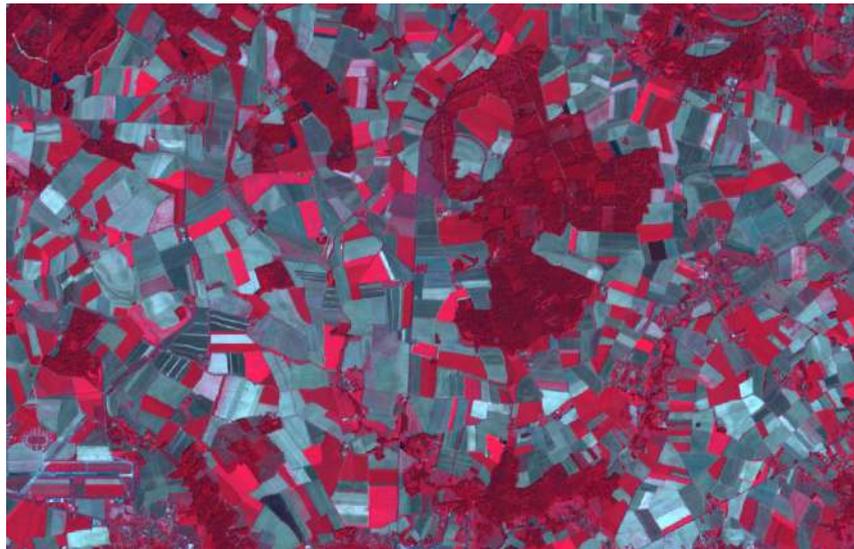
Exemple d'une image AVNIR

Les données AVNIR ont été choisies de préférence par rapport aux images Spot pour le meilleur rapport entre la pertinence pour cette étude et le coût. Il faut également noter que la bande Infra-Rouge de spot 5 est d'une résolution de 20 mètres initialement et non de 10 mètres comme l'AVNIR.

. Les données ASTER du satellite EOS

Ce satellite lancé en 2000 et encore actif aujourd'hui, présente une résolution de 15 mètres pour 3 bandes spectrales dont deux en rouge et proche infra-rouge et 4 bandes dans le thermique. Ces bandes sont idéales pour la détection des zones humides, en revanche la résolution ne permet pas une utilisation unique de ces images. Il s'agira de les employer comme informations complémentaires. Les images Aster ont l'avantage d'être très peu chères (caractéristique des images ASTER en Annexe 9).

Longueur d'onde en μm														
bleu	vert	jaune		orange		rouge		Proche IR	IR moyen			IR Thermique		
0.4 à 0.445	0.445 à 0.492	0.492 à 0.577		0.577 à 0.622		0.622 à 0.70		0.70 à 1.1	1.55 à 2.5			8 à 14		
		1	1	1	1			3 Av		6	8	10	12	15
								3 Ar		7	9	11	13	16
						2	2	2					14	



Exemple d'une image aster

Aster possède des longueurs d'onde qui sont, comme nous l'avons vu précédemment, particulièrement pertinentes pour l'étude de l'humidité des sols.

. Les Données Thematic Mapper de Landsat

Le satellite Landsat-5 TM a été lancé en mars 1984 par la NASA. Le satellite Landsat 4 fut actif à partir de juillet 1982. Il est à noter que le satellite Landsat 5, par exemple, a un cycle de 16 jours pendant lequel il effectue 233 révolutions autour de la terre. Cela signifie que le satellite effectue 233 fois le tour de la terre avant de repasser au-dessus du même point. Ce dernier est opérationnel depuis 1999.

Le satellite civil le plus ancien est Landsat MSS. Il fut lancé en 1972. Depuis 1982, les satellites Landsat (Landsat-4 comme Landsat-5) possèdent 7 capteurs de haute résolution. Il est composé de 7 canaux, 3 canaux dans le visible (déf. 28.5m) + 3 canaux dans l'Infrarouge (déf. 28.5m) + 2 canaux dans le thermique (déf. 60m). Les satellites Landsat permettent d'obtenir un pixel (plus petit élément de l'image) de 30 m x 30 m pour les canaux du visible et de l'infrarouge et de 120 m x 120 m pour le thermique.

Depuis 1999 Landsat- 7 TM possède en plus un canal panchromatique dont la résolution spatiale est de 15 m * 15 m.

Les images Landsat ont l'avantage de couvrir de grandes surface. Une seule image Landsat couvre ainsi l'ensemble du département de la Seine et Marne, ce qui n'est pas

le cas des images Aster. Cela permet d'avoir une homogénéité de traitement et par conséquent une homogénéité de l'information. Plus de 30 scènes de 1984 à 2006 sont disponibles gratuitement. Il est donc intéressant d'en utiliser plusieurs, notamment pour observer les évolutions saisonnières.

Les images Landsat essentiellement d'archive constitueront un état des lieux passé. Ces images sont parfaitement adaptées pour mettre en évidence la présence de zones humides par indices et seuillages. Toutefois, leur résolution n'est pas suffisante pour permettre d'extraire suffisamment d'informations surtout à l'échelle souhaitée. Le capteur Landsat est malheureusement défectueux depuis 2003. Les images de 2003 à 2009 sont donc difficilement exploitables. Les images pré-2003 ont été utilisées comme référentiel ancien. En effet, les zones humides évoluent peu sauf sous l'interaction humaine, et ces images constituent un bon indicateur de leur présence. De plus, beaucoup de ces images sont désormais gratuites, et il aurait donc été dommage de ne pas les exploiter.

Les caractéristiques du satellite sont fournies en Annexe 10.

Wave length in μm													
	ultra violet	violet	blue	green	yellow	orange	red	near IR	middle IR	Thermic IR	Far IR	Radar	
< 0.03	0.030 to 0.300	0.300 to 0.400	0.400 to 0.445	0.445 to 0.492	0.492 to 0.577	0.577 to 0.622	0.622 to 0.700	0.70 to 1.100	1.550 to 2.500	8.000 to 14.000	14.000 to 2000.0	2000.0 to 300000	> 300000
ETM+ Sensor													
					1	1	1	1					
TM & THERMIC Sensors													
				1	1		3	3		5			6
					2	2			4		7	6A	6B
MSS Sensor													
					1	1			3				
							2	2		4			



Exemple d'une image aster

B.II.2.2 Les images radars

Les images radar ont l'avantage de s'affranchir des problèmes de nuages et donc d'avoir l'état de l'occupation du sol même en période de pluie ou de nébulosité. Ce qui n'est pas le cas pour les images visibles. Elles sont toutefois moins lisibles et plus difficiles à exploiter. Quoiqu'il en soit, l'imagerie radar est un outil performant en ce qui concerne les zones humides pour un coût très raisonnable.

Un satellite comme ALOS offre des possibilités de bipolarisation lors de l'acquisition qui apportent une information supplémentaire. Par définition, les images radar sont en niveaux de gris et ne peuvent être classées statistiquement. De plus, elles sont généralement bruitées par un phénomène appelé « speckle ». Cela complique les traitements de pixels à pixels, et on utilise donc plutôt ces images comme support à la photo-interprétation.

Toutefois, les résultats de l'exploitation des images radar sont toujours incertains, c'est pourquoi nous avons proposé de n'acheter qu'une seule image dans un premier temps et de n'envisager une couverture du département que si l'étude de cette image donnait des résultats probants.

B.II.2.2.1. Historique

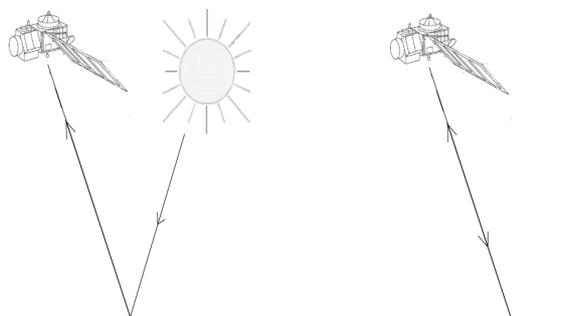
Le premier dispositif d'acquisition d'images radar a été embarqué à bord du satellite Seasat en 1978. Il ne fonctionna que 100 jours, mais contribua à révéler l'intérêt de ce type de données. Le deuxième essai fut l'embarquement d'un capteur radar à bord de la navette spatiale Colombia, du 12 au 14 novembre 1981.

Ce radar est le fameux SIR-A (Shuttle Imaging Radar-A). Les enregistrements de ce radar ont été faits sur film photographique, puis numérisés. Cette mission releva l'intérêt de l'angle d'incidence dans la réponse radar. Cette caractéristique fut étudiée de façon plus approfondie avec le radar SIR-B, embarqué lui aussi sur un vol de la navette spatiale.

B.II.2.2.2. Les apports des capteurs radars

Le radar est actif, c'est-à-dire qu'il émet un signal et qu'il reçoit le signal rétrodiffusé. Le signal émis est un signal électromagnétique hyperfréquence qui est dirigé vers le sol. Les caractéristiques de rétrodiffusion d'un signal radar dépendent de la constante diélectrique du sol qui, elle-même, dépend de la teneur en eau. La couche du sol explorée est de l'ordre de 5 à 10 cm. Autre avantage extrêmement précieux et notamment pour les régions où la nébulosité constitue le principal obstacle à l'utilisation des images satellitales classiques (Landsat ou Spot), c'est la quasi-indifférence à l'état de l'atmosphère, notamment pour les fréquences du signal inférieures à 15 GHz.

Le radar est un système actif



**Capteurs passifs
(type Spot, Landsat, AVNIR...)**

Radar (type ERS, PALSAR...)

Le radar enregistre la valeur P_e qui est la puissance émise et la valeur P_r qui est la puissance du signal rétrodiffusé. La puissance reçue dépend donc à la fois des caractéristiques de ce que l'on appelle la configuration radar (fréquence, incidence et polarisation), et de la surface qui rétrodiffuse le signal.

"**L'équation radar**" qui permet de calculer la valeur de la puissance reçue (P_r) est de la forme :

$$P_r = a \frac{P_e l^2}{(4\pi)^3} \cdot \frac{G_e G_r s}{d^4}$$

avec :

P_e = puissance émise

l = longueur d'onde utilisée

a = coefficient lié aux pertes de l'électronique utilisée (hors antenne)

G_e et G_r = les gains des antennes d'émission et de réception

d = la distance entre le radar et le sol

s = la section efficace de rétrodiffusion

B.II.2.2.3. L'humidité du sol

L'humidité superficielle du sol influe fortement sur le signal radar rétrodiffusé. Ce phénomène s'explique assez facilement : il existe un contraste important entre la permittivité réelle de l'eau (environ 80), celle du sol sec (de 2 à 7) et celle de l'air (1). Ceci est essentiellement vérifié pour les hyperfréquences.

Le signal rétrodiffusé peut être perturbé principalement par la rugosité du sol et la végétation. En ce qui concerne la rugosité, c'est-à-dire l'état de surface du sol, son influence diminue quand la fréquence augmente et pour des valeurs d'angle d'incidence comprise entre 7° et 15°. La végétation quant à elle, représente un effet parasite qui augmente lorsque la fréquence augmente. Les fréquences faibles, inférieures ou égales à 5 GHz pénètrent facilement la végétation. De plus, l'angle d'incidence ne doit pas dépasser 20°.

Les images radar ont l'avantage de s'affranchir des problèmes de nuages et donc d'avoir l'état de l'occupation du sol même en période de pluie, ce qui ne sera pas le cas pour les images visibles. Elles sont toutefois moins lisibles et plus difficiles à exploiter. Quoi qu'il en soit, l'imagerie radar est un outil performant en ce qui concerne des zones humides pour un coût très raisonnable. Un satellite comme ALOS offre des possibilités de bipolarisation lors de l'acquisition qui peuvent apporter une information supplémentaire quant à la caractérisation des zones humides.

Par définition, les images radar sont en niveaux de gris et ne peuvent être classées statistiquement. De plus, elles sont généralement bruitées par un phénomène appelé « speckle ». Le coefficient de rétro diffusion mesuré au niveau du capteur est cependant fortement perturbé par un effet de chatoiement (le speckle). Cela complique les traitements pixels à pixels, et on utilise donc plutôt ces images comme support à la photo-interprétation.

L'utilisation des hyperfréquences de type Radar permet théoriquement de détecter et quantifier le degré d'humidité des sols. Pour estimer le degré d'humidité des sols, la diminution des effets de chatoiement est nécessaire. On peut obtenir cela de plusieurs manières impliquant ou non l'utilisation de plusieurs images, mais quoi qu'il en soit, cette perturbation ne peut être complètement éliminée.

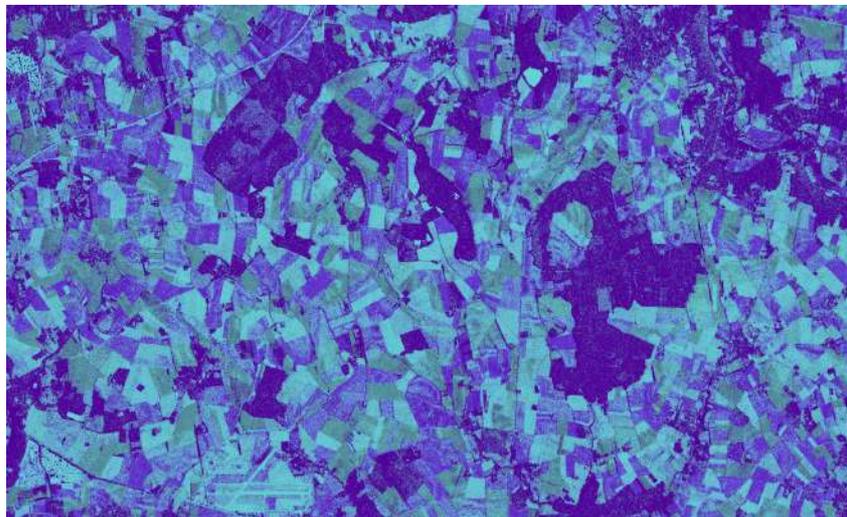
Les images radar ont également des défauts liés à des effets d'éclairages. Le premier défaut est lié à l'angle d'acquisition: les reliefs perpendiculaires à l'onde émise ont une réponse radiométriquement plus intense que les parties à l'ombre. Le second est lié au fonctionnement du capteur lui-même qui génère un effet d'antenne caractérisé par un dégradé radiométrique

dans l'image (anisotropie). Tous ces défauts peuvent être corrigés, par une ortho-rectification pour le premier et une correction d'antenne pour la seconde mais cela implique une modification de l'information.

B.II.2.2.4. Les images Radar PALSAR du satellite Alos

Il s'agit du même satellite que précédemment pour les images visibles et proche-infrarouge.

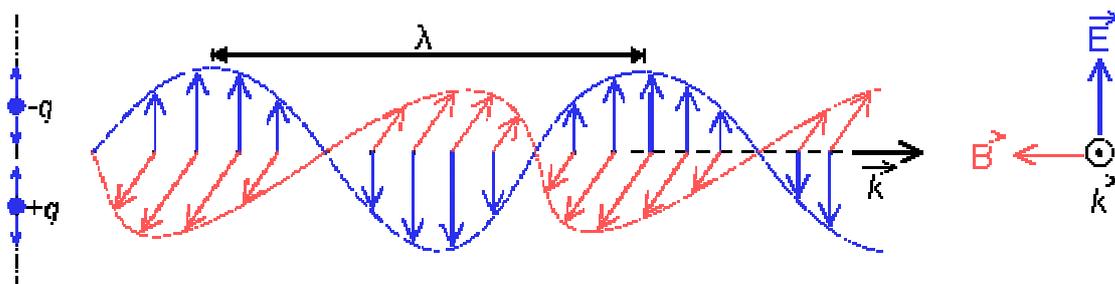
Les caractéristiques du satellite sont fournies en Annexe 11.



Exemple image Radar superposition de deux dates

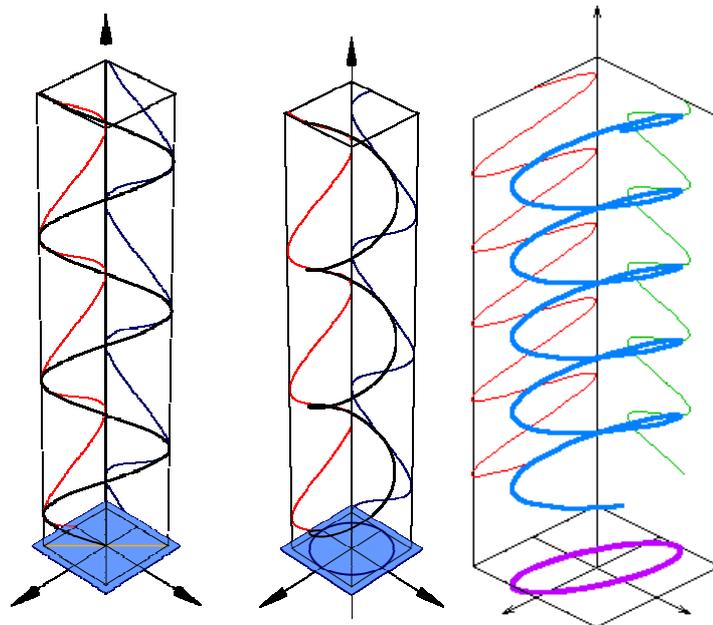
Polarisation d'une onde et signatures

La polarisation d'une onde caractérise l'évolution du champ électrique dans le plan d'onde. Les radiations naturelles d'origine solaire sont non polarisées, ce qui n'est pas le cas d'un signal émis par un satellite. La forme d'onde de la tension d'un champ électrique d'une onde électromagnétique peut être prédictive (l'onde est polarisée) ou aléatoire (l'onde est non polarisée), ou une combinaison des deux.



Onde lumineuse avec champ magnétique \vec{B} et champ électrique \vec{E} à angle droit l'un de l'autre (dans le cas d'une polarisation rectiligne). (Source Wikipédia)

Une onde plane peut se décomposer en deux vecteurs orthogonaux entre eux et orthogonaux à la direction de propagation. En radiométrie, on choisit d'identifier ces composantes comme la polarisation verticale (V) et horizontale (H). La direction verticale est celle contenue dans le plan perpendiculaire au plan d'incidence ou d'observation et qui contient la direction de propagation, et la polarisation horizontale la parallèle à la surface. Tant que la longueur du vecteur représente l'amplitude et que la vitesse de rotation du vecteur correspond à la fréquence de l'onde, la polarisation est donnée par l'orientation et la forme du motif tracé par la pointe du vecteur.



Propagation des ondes dans l'espace (Source Wikipédia)

Les radars utilisent la polarisation pour extraire des informations supplémentaires à la position (obtenue grâce à la réflectivité) et au déplacement (obtenu grâce à l'effet Doppler) des cibles sondées. En effet, les intensités et déphasages entre deux faisceaux polarisés orthogonalement revenant d'une même cible peuvent révéler sa forme ou son type.

Les radars génèrent ainsi plusieurs images simultanées en utilisant des faisceaux polarisés différents, habituellement orthogonaux. Comme les cibles rencontrées (sol, feuillage, édifices, etc.) ont des propriétés polarisantes différentes, l'intensité venant des différentes ondes va varier avec le type de cibles rencontrées (matériaux, formes, mécanismes de "rebonds"). On étudie alors les différences d'intensité et de phases entre les images générées à partir de ces différentes polarisations pour en déduire des paramètres descriptifs de la scène imagée. On peut ainsi rehausser les contrastes de certains détails non visibles sur des images classiques (non polarimétriques), ou déduire des propriétés de la cible telles que le type de végétation.

La polarisabilité de l'eau dépend fortement de la fréquence considérée. Aux basses fréquences, l'eau est facilement polarisable. Cependant, à cause des forces qui les relient, les molécules d'eau ne peuvent pas vibrer aussi facilement aux hautes fréquences. On peut utiliser deux polarisations orthogonales, généralement de transmission-réception linéaire H et V, d'un radar polarimétrique pour déterminer la réponse d'une cible.

Toutefois, la forte interactivité de la température et de la rugosité d'une cible ne permet pas d'obtenir un modèle stable de mise en évidence de l'humidité des sols et le traitement des images radar polarisées reste donc empirique. Dans notre cas, l'utilisation d'une image Palsar bipolarisée sur la zone test aura pour objectif de déterminer s'il est possible ou non de mettre en évidence la caractéristique humidité du sol. Le phénomène sera analysé essentiellement par photo-interprétation après traitement des images.

Conclusion sur le choix des images satellitaires : Les images AVNIR ont été choisies pour constituer notre référence la plus précise et la plus récente en terme de date d'acquisition pour la délimitation des enveloppes de zones potentiellement humides. Les données ASTER et LANDSAT en raison de leur faible coût d'acquisition constituent une base de données pour une analyse multitemporelle mais avec une résolution spatiale plus faible que les images AVNIR. Les images Radar sont un complément d'information dont l'essentiel sera analysé par photo_interprétation.

B.II.2.3. Date d'acquisition des images acquises et pluviométrie - Analyse multi-temporelle

Le choix définitif des images à acquérir a été fait au démarrage du projet à partir d'une étude climatologique sur les meilleures périodes et les meilleures années pour les zones. Néanmoins, le premier critère de sélection des images, hors images radar, est l'absence de couverture nuageuse.

Nous avons donc choisi des images à des dates remarquables correspondant à des périodes qui faisaient suite à de fortes précipitations mais aussi à des périodes plus sèches. Une étude sur plusieurs dates d'acquisition peut mettre en évidence des phénomènes d'assèchement de certaines zones. Il est alors possible de déterminer le caractère permanent ou intermittent d'une zone humide. Un parallèle a été fait avec la pluviométrie à chaque date d'acquisition pour savoir si l'on se trouve dans une fourchette climatique moyenne ou exceptionnelle.

Les images ASTER et LANDSAT sont parfaitement adaptées à ce type d'analyse car on peut obtenir facilement et à moindre coût des dates différentes sur un site et les bandes spectrales du capteur sont idéales pour l'analyse de l'humidité notamment avec plusieurs canaux proche et moyen infrarouge.

Les données climatologiques utilisées pour cette étude sont celles de l'European Climate Assessment. Les données pluviométriques analysées sont issues de la station « PARIS-14E PARC MONTsouris (station-ID: 38) (Détail des pluviométrie/jour en Annexe 14).

Dans les tableaux ci-dessous sont mentionnées les pluviométries moyennes sous 15 jours et dans le mois précédent l'acquisition de chaque image satellitale acquise pour cette étude.

Images Avnir

Pour couvrir la région Ile de France, 6 images Avnir sont nécessaires. Pour ces images constituant notre référence pour tester l'apport des images satellitales dans la délimitation des zones humides, des images de printemps avec des pluviométries assez conséquentes ont été choisies.

Images	Dates acquisition	Puviométrie sous 15 j en 0.1mm	Pluviométrie sous 1 mois en 0.1 mm
2 AVNIR	27 Avril 2008	280	550
1 AVNIR	11 mars 2007	420	790
1 AVNIR	16 avril 2007	90	0
2 AVNIR	12 Mai 2008	130	410

Images RADAR

Sur la zone test, au final 3 images Radar ont été acquises par rapport à la proposition de départ.

- 2 images FBS : Fine beam Swath mode – résolution de 10 m avec une polarisation HH (deux images prises à deux dates différentes correspondantes à des pluviométries sensiblement opposées afin d'en analyser les différences radiométriques.
- 1 image FDS : Fine beam dual polarization (image bipolaire) – Résolution 20 m avec une bipolarisation HH et HV. Ici les deux bandes spectrales sont prises simultanément mais le signal récupéré est différent du fait de la polarisation du signal. En effet l'humidité ayant une influence directe sur le signal

Images	Dates acquisition	Pluviométrie sous 15 j en 0.1 mm	Pluviométrie sous 1 mois en 0.1 mm
Palsar FDB	12 Août 2007	830	1170
Palsar FBS	11 Janvier 2007	100	380
2 Palsar FBS	14 Février 2007	240	580
Palsar FBS	26 Février 2007	290	570
2 Palsar FBS	16 Décembre 2007	0	270
Palsar FBS	12 Février 2008	60	260
2 Palsar FBS	17 Mars 2008	0	0
Palsar FBS	29 Mars 2008	60	750
2 Palsar FBS	15 Avril 2008	180	690
2 Palsar FBS	19 Février 2009	100	170

Images ASTER

Sur la zone test, deux images aster ont été choisies. Ces deux images ont la même date d'acquisition. Le tableau ci dessous indique toutes les images acquises ainsi que leur contexte pluviométrique.

Images	Dates acquisition	Pluviométrie sous 15 j en 0.1 mm	Pluviométrie sous 1 mois en 0.1 mm
2 Aster	31 Août 2000	196	528
1 Aster	22 Février 2003	232	234
3 Aster	26 Août 2003	306	322
2 Aster	4 Septembre 2004	228	814
2 Aster	22 Octobre 2004	2	240

Images LANDSAT

Le tableau ci dessous indique toutes les images acquises ainsi que leur contexte pluviométrique.

Images	Dates acquisition	Pluviométrie sous 15 j en 0.1 mm	Pluviométrie sous 1 mois en 0.1 mm
1 LANDSAT 7	24 août 2000	410	588
1 LANDSAT 7	26 mars 2003	234	424
1 LANDSAT 7	15 novembre 2001	160	580
1 LANDSAT 7	23 mai 2001	108	434
1 LANDSAT 7	8 avril 2002	0	568
1 LANDSAT 7	29 juillet 2002	2	510
1 LANDSAT 5	25 août 2003	266	314
1 LANDSAT 5	9 août 2003	184	266
1 LANDSAT 5	16 juillet 2006	150	310

Les données étant gratuites, toute une série d'images a été acquise. Neuf images au total ont été récupérées sans couverture nuageuse. Il a été difficile de trouver des images d'Hiver en raison de la couverture nuageuse.

B.II.3. Les pré-traitements

B.II.3.1 Géoréférencement et orthorectification

Les traitements de base, géoréférencement et ortho-rectification, ont été réalisés sur la même référence cartographique et sur le même Modèle Numérique de Terrain (MNT) afin de minimiser les décalages géométriques entre les scènes de même capteur et entre scènes de capteurs différents.

Pour le géoréférencement, les photographies de la BD-Ortho ont été utilisées comme référence pour la prise de points de calage.

L'orthorectification est un processus de calcul qui a comme objectifs de corriger les déformations de l'image liées au relief. Le MNT utilisé est celui de la BD-Topo fourni par la DIREN avec une résolution de 25 m.

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

En traitement d'image, on utilise des processus qui travaillent de pixel à pixel et cette notion est donc très importante. De plus, l'ortho-rectification doit être de bonne qualité pour que toutes les données cartographiques exogènes (vecteurs, SCAN ...) se calent sur les images. Un problème de calage peut entraîner un biais par des effets de bordure par exemple, dans les résultats d'analyse.

B.II.3.2 Les compositions colorées

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

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

B.II.4 Méthodologie d'analyse des images satellitales

B.II.4.1 Calage préalable à l'analyse des images satellitales

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

Sur la base de cette première analyse et d'informations récoltées auprès des acteurs locaux, lors du comité de suivi du 20 juillet 2009, une sélection, un échantillonnage de zones a

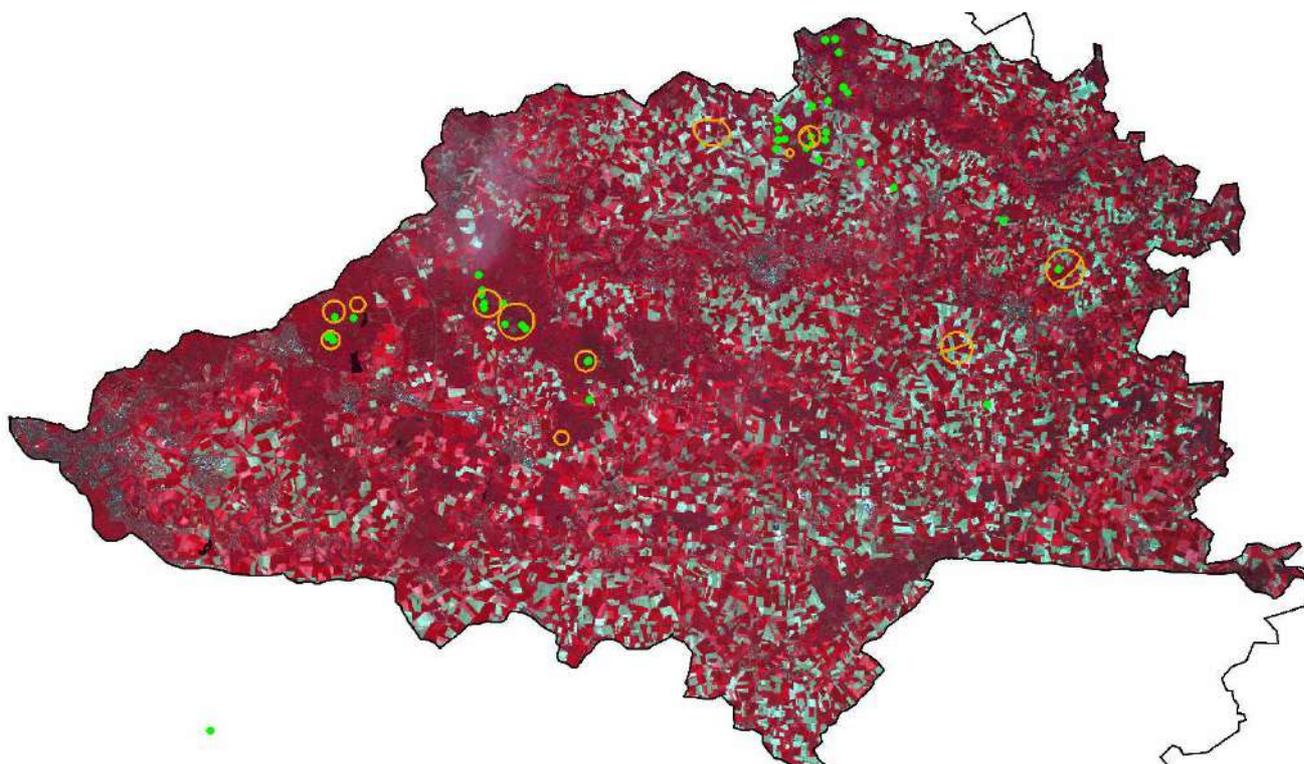
été défini afin de caler la photo-interprétation. Les caractéristiques du matériel utilisé sur le terrain sont fournies en Annexe 12.

Les critères de choix utilisés pour réaliser cet échantillonnage sont :

- . l'analyse bibliographique
- . les dires d'experts locaux

La localisation des secteurs ainsi identifiés est présentée sur la figure ci-dessous.

Une première mission de terrain a eu lieu du **8 au 10 septembre 2009**. Elle avait comme objectif d'effectuer une première relation entre la pré-photointerprétation et la réalité terrain sur les secteurs échantillonnés. Cette première mission a permis d'appréhender le contenu et la réalité de terrain des différentes données issues des études de la bibliographie.



Localisation des endroits visités sur le terrain lors de la mission de calage sur la zone test (en orange les zones pré-sélectionnées avant le terrain et les ronds verts sont les points GPS pris sur des points remarquables directement sur le terrain)

Sur le terrain, nous nous sommes rendus en différents endroits pour observer à quels types de milieux correspondaient les différentes classifications des inventaires existant faisant mention de zones humides selon leur propre définition.

Inventaire Ecomos



Exemple inventaire ECOMOS



En rouge : Prairie mésophile
En orange : Peupleraie
En bleu : Prairie humide

Dans cet exemple ci-dessus, selon la classification utilisée pour les inventaires Ecomos de l'IAURIF, 3 parcelles contiguës situées dans un même milieu appartiennent à 3 classes différentes. Ces trois parcelles (prairie mésophile, Peupleraie, Prairie humide) sont situées dans le lit majeur de la rivière au même niveau mais leur dénomination en fait trois entités différentes par rapport à la sélection de critères relatifs aux zones humides des données exogènes. La prairie mésophile selon sa position topographique et sa proximité par rapport au ruisseau est une parcelle qui présente les mêmes caractéristiques que les deux autres parcelles adjacentes. Mais la classe dans laquelle elle est affectée dans l'étude Ecomos en fonction de leur propre objectif n'a pas été retenue dans notre étude comme une classe caractéristique de milieu humide ou potentiellement humide.

Alors que le masque théorique réalisé à partir d'un «buffer» autour du réseau hydrographique calibré en fonction de la valeur de la pente englobe cette parcelle.

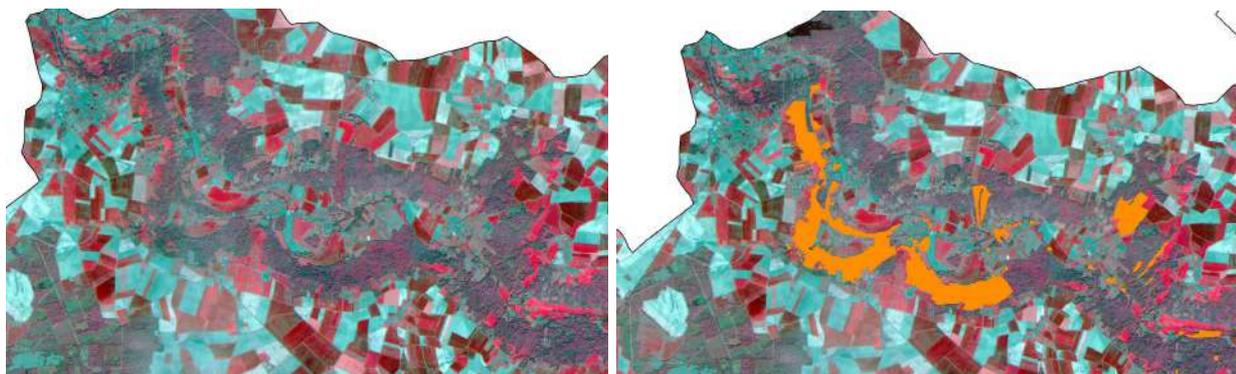


A gauche : Application du masque « Réseau hydrologique + pente » sur la zone inventoriée par l'étude Ecomos. A droite : Image Avnir du 27 avril 2008

La pertinence de chaque donnée d'inventaire déjà réalisé a pu être ainsi évaluée par le biais de ces visites terrain en fonction des objectifs de notre étude. Les images satellitales à cet endroit (voir sur la figure ci-dessus à droite, une image satellitale AVNIR du 27 avril 2008) n'ont pas permis d'apporter des informations supplémentaires car les parcelles au moment des prises de vue étaient en culture et la végétation masque l'information d'humidité potentielle du sol qu'il est possible de détecter à partir des images satellitales.

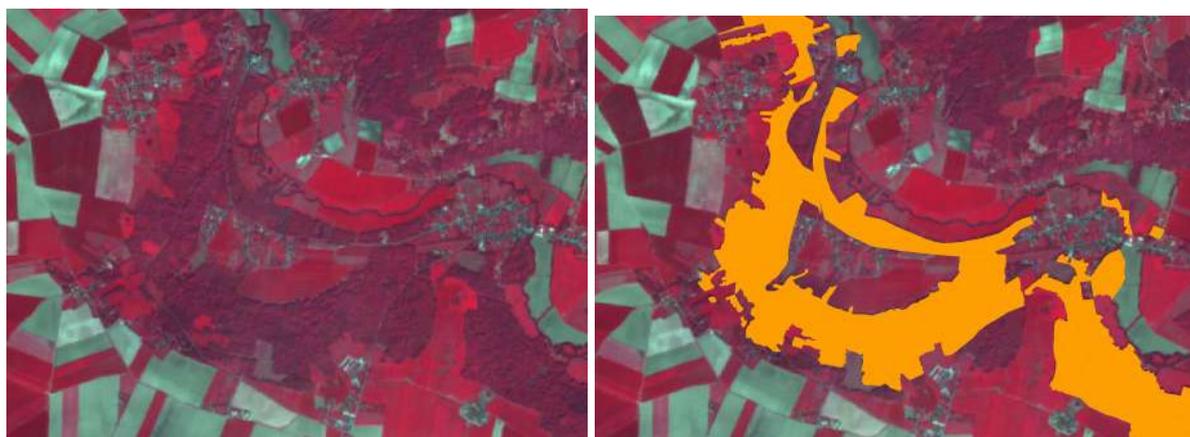
Ce travail nous a permis d'évaluer la pertinence des inventaires et la manière dont nous pourrions nous appuyer sur ces informations dans l'analyse des images satellitales.

Inventaire CBNBP :



Exemple inventaire CBNBP : en orange parcelle où présence de chêne pédonculé

Au départ, certaines données issues de l'inventaire du Conservatoire de Botanique avaient été considérées comme caractéristiques de zones humides par rapport aux critères floristiques de la loi. Après visite sur le terrain et discussion avec le conservatoire, certaines données comme par exemple les parcelles de chênes pédonculés que l'on trouve principalement sur les coteaux du bassin du petit Morin sont à considérer comme « pro parte » et non comme humide à 100%. Ces parcelles représentent en fait de grandes surface. Cependant, sur les images satellitales Avnir, il n'est pas possible de distinguer ces formations forestières particulières des autres formations à proximité.



zoom sur une parcelle avec présence de chêne pédonculé délimité par le CBNBP

Cette classe de végétation avec la présence de chêne pédonculé a fait l'objet d'un masque particulier que l'on a dénommé « Zone humide de transition avec expertise à la fois *In situ* et *Ex situ* » (voir la première partie de ce rapport sur l'analyse des données existantes).

En fonction des observations et des discussions que nous avons eu avec les différents partenaires, la caractérisation des zones humides ou potentiellement humides à partir des données exogènes a pu être affinée et la pertinence de ces données mieux appréhendée.

Sur la base de cette première mission de terrain, des ajustements de la pré-photo-interprétation ont ainsi été réalisés. En parallèle de ces observations terrain, des traitements automatiques ont été effectués sur les images satellitales.

B.II.4.2. Analyses automatique des images satellitales

Sur la base des informations de terrain et des techniques déjà employées pour la caractérisation des zones humides, une analyse statistique de la radiométrie des différentes bandes spectrales a été réalisée par les méthodes d'Analyse en Composante Principale et par les méthodes du type Classification non-supervisée, mais aussi l'utilisation d'indices présentés au paragraphe suivant qui ont été utilisés pour essayer de mettre en évidence, dans chaque image, des zones présentant une humidité de surface.

Des tests sur les images Radar ont porté également sur la combinaison multi-temporelle des images et multi-capteurs pour la confrontation des résultats et l'évaluation de l'apport de chaque méthode.

Chaque résultat a fait l'objet d'une analyse de pertinence. Il est à noter que la fiabilité et les probabilités sont des notions floues quand elles ne peuvent se baser sur des éléments quantitatifs. Or, ces éléments sont essentiellement basés sur la correspondance avec la réalité terrain. Mais en aucun cas cette probabilité / fiabilité n'est établie de façon certaine. Le résultat est sans doute plus qualitatif que quantitatif d'autant que l'échantillonnage n'a pas été exhaustif ni homogène.

Si les procédés de classification donnent de bons résultats sur les surfaces bien caractérisées géométriquement et radiométriquement (en général anthropisées), les techniques de traitement d'images basées sur des calculs combinatoires entre les canaux et utilisant les méthodes d'analyse de données et de combinaisons arithmétiques, donnent en général de meilleurs résultats sur les espaces naturels dont l'homogénéité radiométrique et les limites géométriques ne sont pas toujours clairement établies.

Ces traitements consistent en une analyse statistique de la radiométrie des différentes bandes spectrales, mais aussi par l'utilisation d'indices pour la mise en évidence des zones humides dans chaque image.

Les méthodes utilisées sont décrites dans les paragraphes ci-dessous :

B.II.4.2.1. L'ACP

L'ACP doit permettre de résumer une information répartie dans plusieurs canaux (n) dans un nombre de plans réduit ($m < n$). Ces plans sont appelés axe de l'ACP.

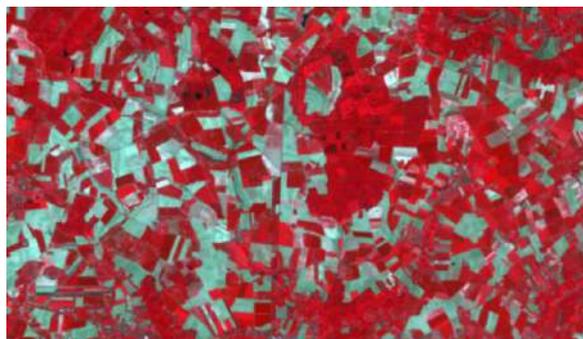
L'Analyse en Composantes Principales (ACP) est une Analyse Factorielle. C'est une analyse statistique multivariée dont l'objectif est de résumer l'information de plusieurs canaux en un nombre réduit de nouveaux canaux (2 à 3 canaux). Les variables ainsi créées sont appelées axes (ou composantes principales).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

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

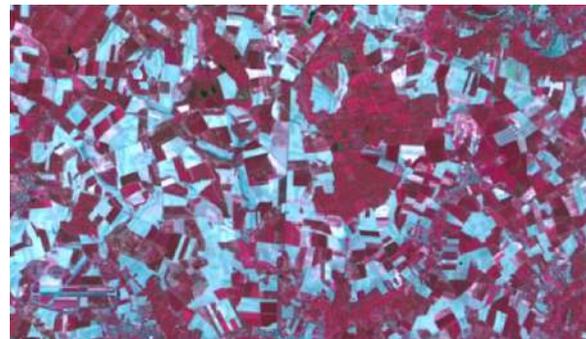
L'ACP a l'avantage de donner une vision globale de l'information sur toutes les bandes spectrales à la fois. Deux entités qui ne ressortent pas de couleurs différentes sur l'ACP ne seront pas discriminables par un traitement statistique de type classification.

Un test d'ACP a été effectué uniquement sur les Landsat en raison de leur multitude de canaux. Une ACP sur les images AVNIR n'est pas pertinente car les différences entre la combinaison des différents canaux sont minimales.

Résultats de ce traitement :



Composition colorée 432



Composition colorée des 3 premiers plans ACP

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

B.II.4.2.2. Classifications

Seule la classification non supervisée a été utilisée. Les méthodes de classification non supervisées ont été mises au point pour être utilisées lorsque l'on ne dispose pas d'information a priori sur la zone. La situation présente sur le terrain lors de la mission du mois de septembre pouvait être très éloignée de la situation du jour d'acquisition, notamment en ce qui concernait l'humidité des sols. Nous avons donc choisi de discriminer le plus grand nombre de thème en nous basant uniquement sur la radiométrie des images et non en y intégrant une connaissance a priori qui aurait été erronée. Un pixel est associé à autant de valeurs radiométriques que le satellite a de canaux. La démarche non supervisée consiste à tirer un échantillonnage aléatoire de l'ensemble des pixels de l'image et de définir ou non un certain nombre de thèmes (ou classes) dans lesquelles les pixel seront affectés. Ces classes serviront de référence et tous les pixels de l'image seront affectés à l'une ou l'autre des classes.

L'algorithme utilisé pour classer ces différentes bandes est « ISODATA » qui segmente différents groupes de pixel en fonction de leurs caractéristiques spectrales. Cet algorithme permet de minimiser l'erreur quadratique en associant chaque observation au centroïde le plus proche. Il élimine les agrégats avec trop peu d'éléments et peut les regrouper si leur nombre est trop grand ou si certains sont trop proches.

La Classification n'a été faite que sur les images Avnir. Le schéma de principe de la classification non supervisée est présenté en Annexe 13.

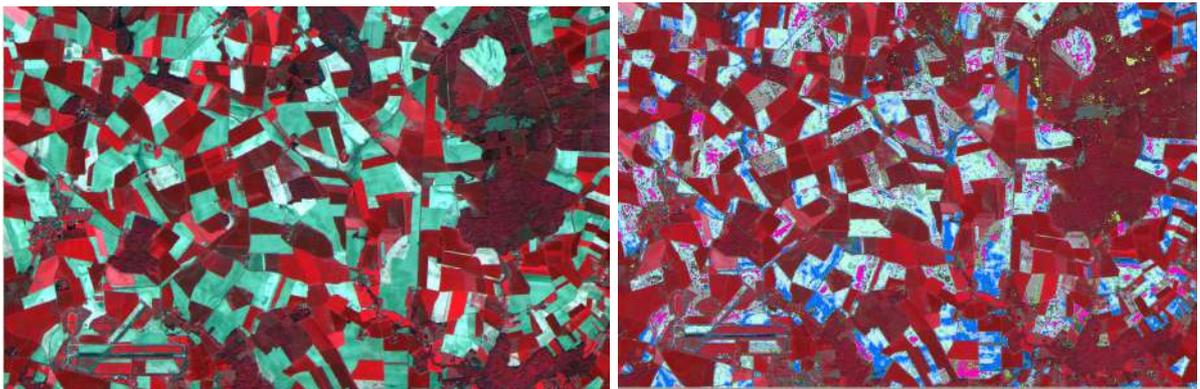
Résultats :

Une classification sur 254 valeurs de pixel a été calculée : un certain nombre de classes a été retenu par regroupement ou non de valeurs de pixel. Le nombre de classe au final est de 6 afin d'avoir une lisibilité de la classification. Un dégradé de couleur bleu a été appliqué en tenant compte des informations terrain recueillies : On voit se dessiner différents chenaux (en bleu) mais par contre pour certaines valeurs de pixel, en tenant compte de leur organisation et position spatiale, il est difficile de les rattacher directement à des zones de drainage. Cette classification permet de mettre en évidence les chenaux les plus remarquables mais fait ressortir aussi des zones anbigües ou des zones de confusion .

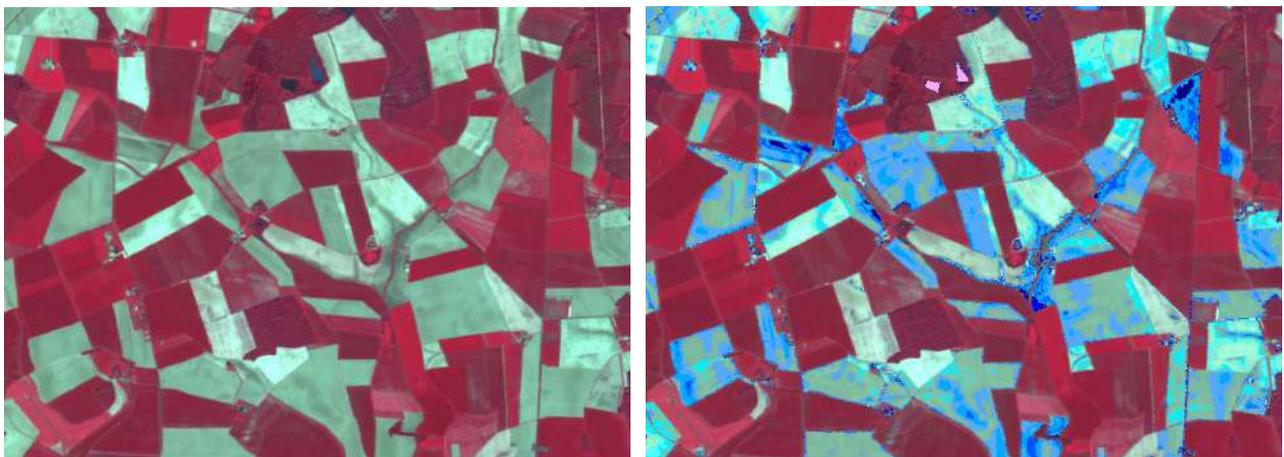
Les résultats montrent que ces traitements ont permis d'identifier certaines zones humides non visibles directement sur le terrain qui après vérification représentaient bien un potentiel humide (exemple : chenaux).

Le terrain nous a permis de valider les inventaires utilisés dans un premier temps ainsi que de repérer des sites particuliers à partir des images sur lesquels nous nous posons des questions. Une fois les traitements effectués, il nous a fallu valider les interprétations que nous avons données à nos traitements.

Bien que cette classification permette de faire ressortir les zones humides les plus facilement reconnaissables, la réalisation d'un masque vectoriel final nécessiterait un travail important de nettoyage du raster résultant et demanderait d'effectuer une photo-interprétation supplémentaire pour compléter l'information. De plus, la zone d'étude est couverte par 6 images AVNIR, cela signifie qu'il faut effectuer le travail de regroupement de valeurs de la classification pour chaque scène.



Classification automatique sur ACP AVNIR



A gauche, zoom sur l'image AVNIR. A droite, superposition avec la classification (en bleu).

On remarque sur la figure juste ci-dessus, que les classes isolées issues de la classification mettent en évidence les grands chenaux (en bleu plus foncé) mais par contre, de grandes plages sont aussi caractérisées qui ne sont pas forcément des zones dépressionnaires et nécessitent d'être éliminées par un nettoyage manuel.

Cette méthode de classification automatique n'a donc pas été appliquée à l'ensemble de la zone Ile de France.

B.II.4.2.3. Les Indices

Les indices d'humidité sont en général spécifiques aux images Landsat et Spot en raison de la présence de canaux dans le moyen IR et dans le bleu. L'humidité est plus caractérisée dans les canaux bleus et MIR (Moyen Infra-rouge). Les images AVNIR ne possèdent pas de canaux dans le bleu et le moyen infra-rouge donc les calculs d'indices caractérisant l'humidité sont moins pertinents.

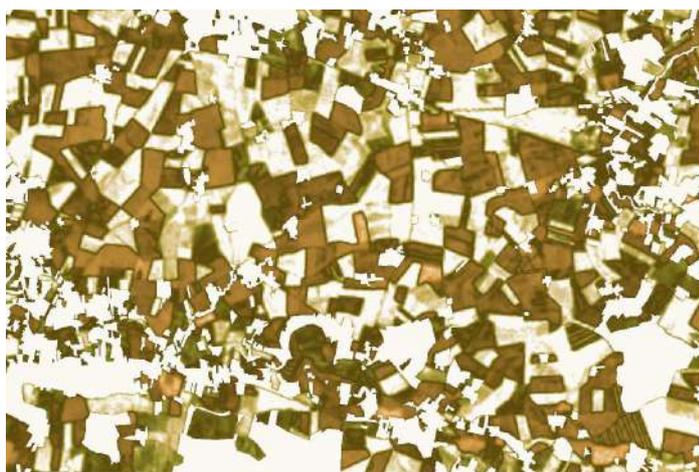
Cet indice doit permettre de faire ressortir de l'image les secteurs selon leur humidité relative.

. Indice d'humidité sur image Landsat : L'augmentation de la teneur en eau du sol induit une baisse de luminance plus forte dans les grandes longueurs d'ondes que dans les courtes

$$\mathbf{IH = (ETM+1 \times 0.2626) + (ETM+2 \times 0.2141) + (ETM+3 \times 0.0926) + (ETM+4 \times 0.0656) + (ETM+5 \times (-0.7629)) + (ETM+7 \times (-0.5388))}$$

ETM x : numéro de la bande spectrale

Ces indices sont pratiques car ils permettent de comparer des images issues de mêmes capteurs obtenues à des dates différentes. Ils font ressortir une partie de l'information contenue dans l'image mais ne permettent pas de l'extraire de façon optimale car il ne s'agit pas d'une classification. L'information est visuelle et nécessite une analyse par photo-interprétation. Les coefficients utilisés sont connus pour chaque type de capteur satellite mais les résultats ne sont pas toujours constants d'une image à l'autre car l'indice renforce le poids d'une information par rapport au reste de l'image, mais cela implique que cette information existe de façon significative dans l'image.



Indice d'humidité sur image Landsat

Ci-dessus, un exemple de calcul d'indice concernant directement l'humidité. Un masque sur les zones de forêt a été appliqué. Une partie de l'information correspond à des zones de drainage ou dépressionnaire mais par contre, il existe de grandes confusions. Ces indices sont des supports pour s'aider à comprendre une situation mais ne suffisent pas pour être utilisés seuls. Ces

indices n'ont pas été utilisés pour caractériser les zones potentiellement humides sur l'ensemble de l'Ile-de-France.

B.II.5. VALIDATION DES PRE-TRAITEMENTS ET DES RESULTATS TERRAIN

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.

Les résultats de la pré-photo-interprétation avant terrain montraient clairement dans les parcelles de culture des traces de couleur gris foncé de faible réponse spectrale. La forme géométrique de ces traces à certains endroits correspondent à des zones de drainage dans la prolongation en général du réseau hydrographique de la BD_Topo.

Dans la zone test, les surfaces agricoles occupent une grande surface. A l'intérieur des parcelles de culture ne présentant pas de végétation active, les faibles réponses spectrales du canal MI des images Avnir correspondent en règle générale à la présence de traces d'humidité à faible profondeur dues à des dépressions locales. A partir de composition colorée avec les canaux 432 de l'image AVNIR, on observe une gradation de réponses spectrales dans les couleurs de gris.

En fonction des résultats de la pré_photo-interprétation, nous nous sommes attardés dès le départ sur deux types de milieux

- . Humidité potentielle sur les zones cultivées
- . Humidité potentielle sous couvert arboré

Dans un deuxième temps, une approche a été effectuée afin d'évaluer la pertinence des principales données exogènes à notre disposition comme les données inventaires naturalistes et les données pédologiques.

L'ensemble des résultats a été récupéré puis intégré dans le SIG afin de le confronter aux observations de terrain et des éléments bibliographiques qui ont été sélectionnés en phase 1.

Une deuxième mission terrain réalisé du **23 au 25 septembre 2009**. Elle était plus axée sur l'objectif de valider et d'affiner les traitements effectués et les résultats de la pré-photo-interprétation sur les images satellitales.

Cette deuxième enquête terrain, en lien avec la première a permis de valider certains critères, de révéler les confusions possibles et de trouver des erreurs potentielles liées à des particularités.

Certaines confusions peuvent exister comme peuvent le montrer les deux exemples ci-dessous.

B.II.5.1. Confusions en zones agricoles :

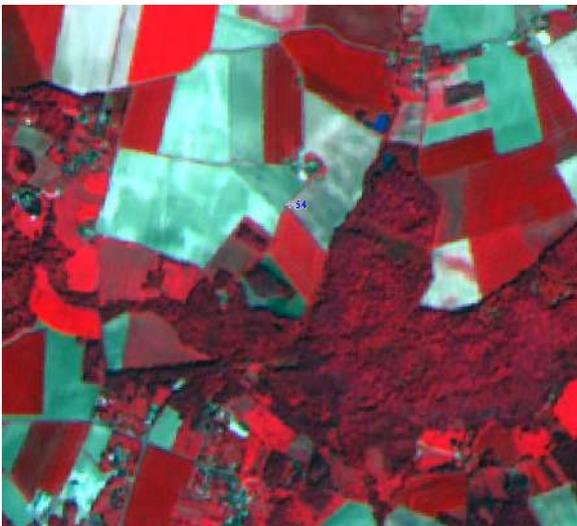
Exemple 1 : Il s'agit d'une parcelle dont une partie est située en haut d'un sommet et le reste en pente. La marque sur cette parcelle ne correspondrait pas à une saturation des sols en humidité par rapport à la situation rencontrée sur le terrain. La forme très géométrique de la trace fait plus penser à une différence de pratique culturale entre deux parcelles à la date de prise de vue de l'image satellitale.





Exemple 2 :

Parcelle globalement en pente avec des micro-zones dépressionnaires - La saturation en humidité sur l'image satellitale n'est pas expliquée car nous ne sommes pas dans une situation de zone drainante ou de forte dépression comme dans les autres cas. Mais néanmoins, un puits ou l'eau est présente à moins d'1 mètre de la surface du sol a été localisé dans cette parcelle.



Les images permettent de discriminer les zones de drainage en surface et en sub-surface induisant une augmentation de l'humidité du sol jusqu'à probablement saturation des sols dans les zones dépressionnaires induisant une réponse spectrale différente sur les images (réponse plus faible dans le domaine du Moyen -Infra-rouge).

B.II.5.2. Confusion en zones forestières

En règle générale, il est très difficile de caractériser les zones humides du fait de la présence de la canopée. Sur les images Avnir de la zone test, certains endroits sous couvert forestier avaient une réponse spectrale plus faible et faisant penser à des zones plus humides.

Cependant, sur le terrain, nous avons identifié des problèmes de confusion possible dans les endroits où la présence de résineux s'est avérée. L'idée de départ était d'essayer d'effectuer un masque de résineux à partir des données Ecomos mais le résultat s'est avéré très disparate et non exhaustif.

Dans un deuxième temps, des données ont été demandées auprès de l'ONF mais toutes les données ne sont pas sous forme vectorielle et facilement accessibles et n'ont subi pour la majeure partie, aucune normalisation. N'ayant pas de données exhaustives, actualisées et facilement accessibles sur les espèces forestières, nous n'avons pas persévéré dans cette voie.

Exemple 1 :



Dans le cas 1, bien que la pluviométrie précédant la mission terrain soit très faible, la terre était encore bien boueuse à l'endroit présentant des zones plus sombres sur les images satellitales Avnir. Par contre, dans le cas 2, la tache plus sombre correspond à la présence de résineux en mélange avec des feuillus.

Exemple 2 :



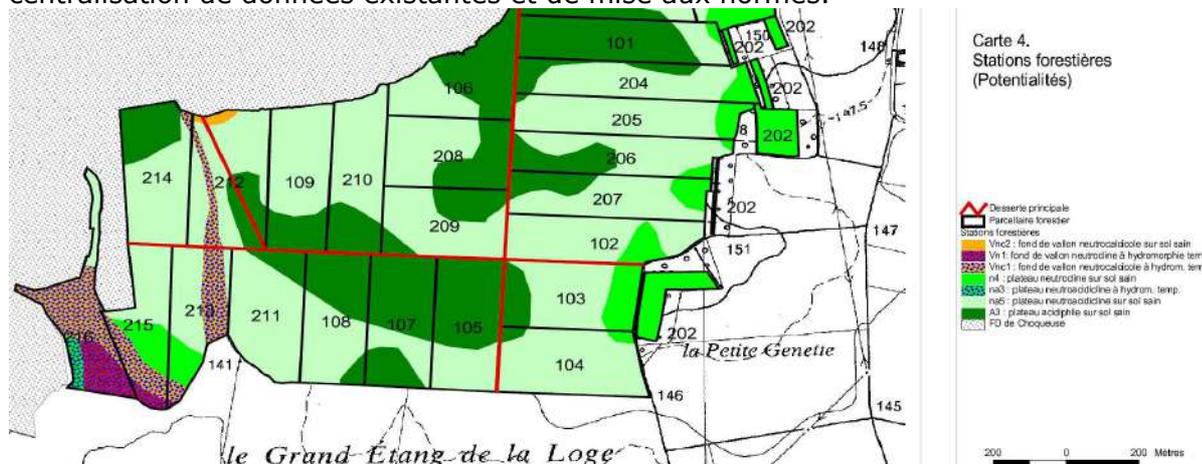
Dans cet exemple, bien que les conditions sous couvert forestier soient bien celles de zones humides, cela ne se différencie pas sur les images satellitales.

Exemple 3 :



Cependant, en faisant un parallèle avec les autres données exogènes telles que le SCAN 25 ou les cartes de Cassini, il est possible de caractériser des zones présentant des caractéristiques de zones humides en zone sous couvert forestier.

L'ONF réalise en parallèle des inventaires sur les espèces forestières, des inventaires de description de stations forestières prenant en compte des critères d'hydromorphie du sol (voir l'exemple ci-dessous de carte de stations forestières). Mais comme pour les inventaires d'espèces, les données que nous avons recueillies dans un premier temps ne sont pas toutes sous forme vectorielle et n'ont pas été normalisées. Cela nécessiterait un travail important de centralisation de données existantes et de mise aux normes.



N'ayant pas toutes les données nécessaires pour réaliser un tel inventaire, nous n'avons pas effectué de photo-interprétation de zones potentiellement humides dans les zones sous couvert forestier.

B.II.5.3. Recoupements d'informations

Détection de traces d'humidité de surface en zones cultivées



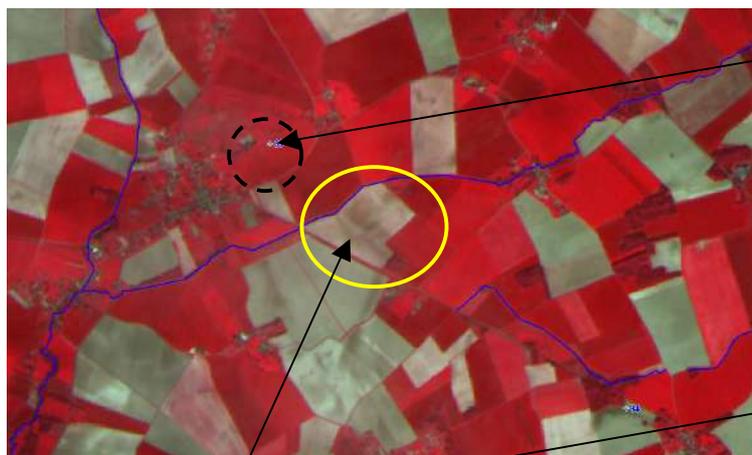
Faible réponse spectrale et gradation de couleur



Exemple : Forêt de Choiseuse – Grand étang de la loge

On identifie très nettement les différences de réponse spectrales dans les parcelles de culture au sol nu. Sur le terrain, ces zones correspondent à des zones de drainage et des micro-dépressions non visibles sur le MNT de l'IGN. En faisant un parallèle avec les données exogènes telles que la toponymie et les cartes de Cassini, il s'avère que ces zones correspondent à l'emplacement d'anciens étangs et que cette dénomination est mentionnée sur le SCAN 25.

Dans l'exemple suivant, aux alentours de la butte de Doue, la même chose a pu être observée sur le terrain.



Butte de Doue – Photo prise depuis ce point



Zone de faible réponse spectrale correspondant à une zone boueuse sur le terrain car micro-dépression

Autre exemple où ces différentes zones d'humidité de surface visibles sur les images AVNIR peuvent être mises en parallèle avec d'autres données exogènes comme les photographies aériennes de la BD_Ortho de 2003 et les cartes de Cassini : Zone autour de Rampillon

Exemple de Rampillon

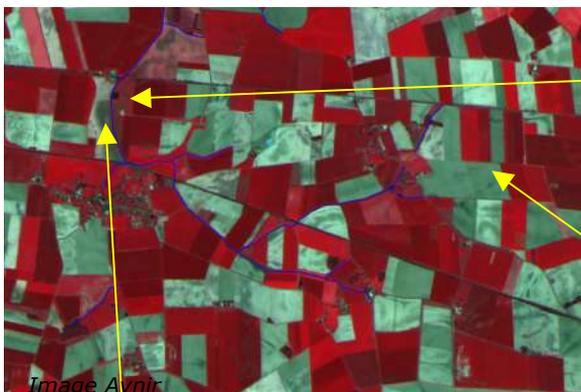


Image Avnir



Extrait Scan



Extrait carte Cassini



Extrait BD_Topo

Autres exemples : apport des autres données images = Apport multidates

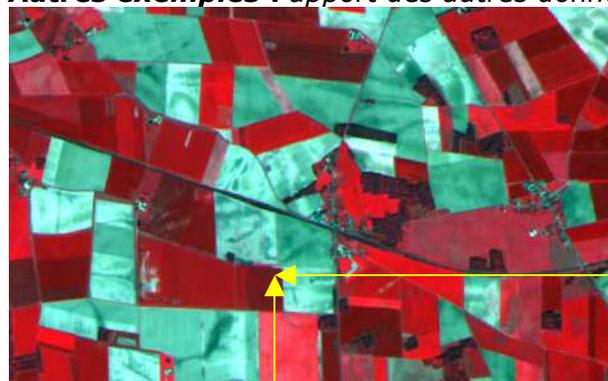


Image AVNIR 27 avril 2008

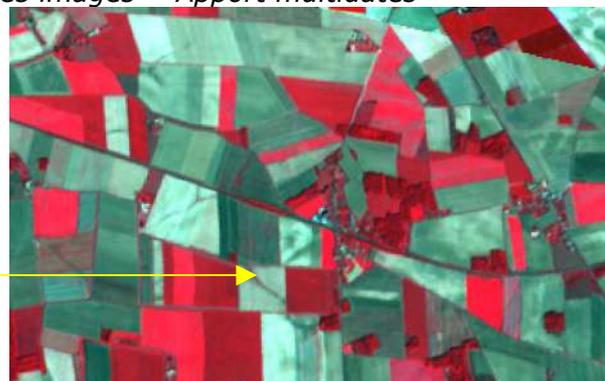


Image ASTER 4 septembre 2004

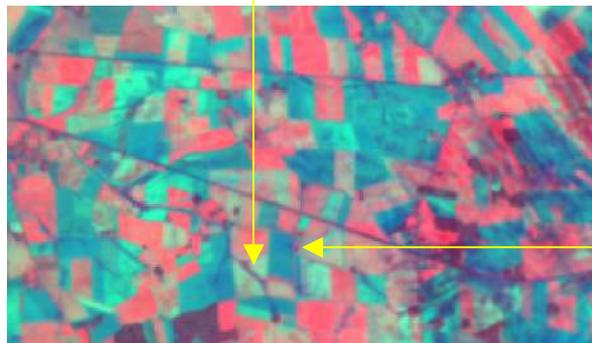


Image LANDAST 26 mars 2003

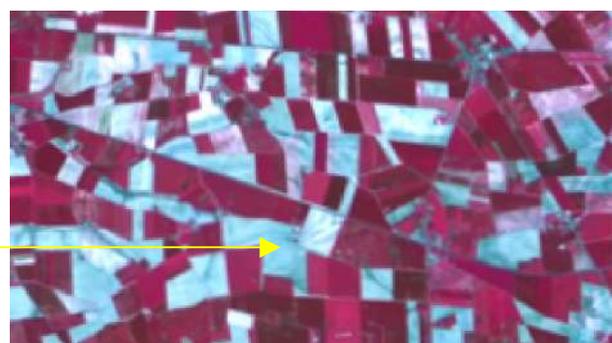


Image LANDSAT 23 mai 2001



Les images multidates permettent d'avoir dans un premier temps une occupation du sol différente dans les parcelles cultivées afin de caractériser la continuité des traces de présences d'eau en surface et dans un deuxième temps, en fonction du taux de précipitation précédent la date d'acquisition de chaque image, d'effectuer un parallèle et de caractériser ce qui relève plus de la présence d'humidité que de facteurs autres.

B.II.6 PHOTO-INTERPRETATION DES IMAGES SATELLITALES

Sur la base des informations de terrain, des traitements automatiques d'images, la photo-interprétation a été réalisée à l'écran pour cartographier les zones potentiellement humides de surface.

B.II.6.1 . Méthodologie de Photo-interprétation de la zone test et Résultat de la vectorisation

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

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. L'échelle a été fixée au 1/25 000 pour toutes les fenêtres esclaves contenant les informations complémentaires (classification, BD TOPO, autres images satellitales, etc.).

La finalité de l'interprétation est de produire une couche vectorielle complémentaire des données exogènes indiquant la présence d'humidité en surface/subsurface. L'interprétation permet de caractériser des zones principalement 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 potentielles consiste à réaliser un zonage issu de l'observation des images satellitales visibles et infrarouge puisque les images possédant des canaux infrarouges font ressortir l'humidité latente. Les images radar laissent aussi apparaître par endroit les paléo-chenaux. De même, les résultats des traitements statistiques et multi-temporelles ont contribué à mieux comprendre et affiner la délimitation de ces zones.

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

- . Teinte/couleur sur les images visibles.
- . Forme et répartition (présence de cours d'eau ou ripisylves à proximité).
- . Intensité Texture sur les images radar.

L'utilisation en parallèle des données exogènes permet de prendre en compte d'autres facteurs :

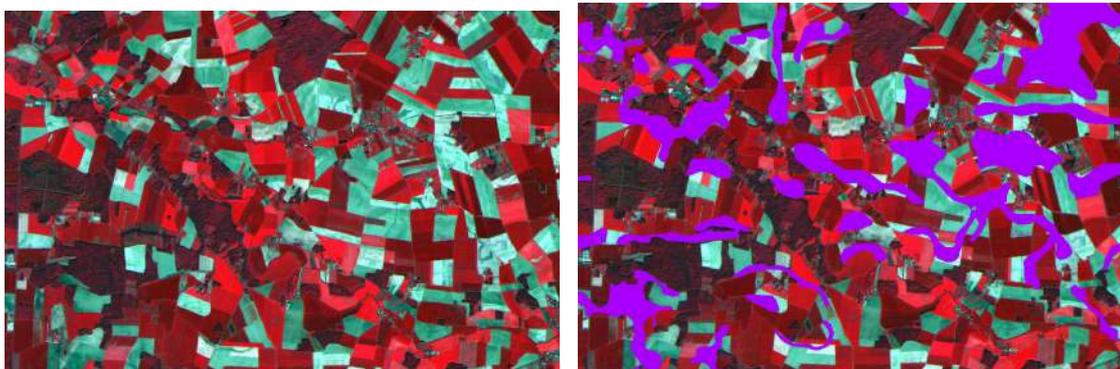
- . Dépressions sur les éléments de topographie (MNT – Courbes de niveau SCAN 25)
- . Présence probable ou absence d'eau en relation avec le type de pédologie.
- . Analyse des cours d'eau et plans d'eau naturels ou non.
- . Données exogènes diverses comme les cartes de Cassini et la toponymie sur le SCAN 25.

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 d'inventaires existantes et réalisées à même échelle ou par le biais d'inventaire systématique sur le terrain. Des distinctions peuvent être faites en fonction du degré de potentialité. Par exemple, lorsque la délimitation intervient dans une logique de prolongation d'un réseau hydrologique existant ou formant un paléo-chenal, une potentialité plus forte peut être attribuée. Par contre, lorsqu'une la délimitation concerne une zone plus isolée de forme moins évidente et une logique avec les données exogènes difficile, la potentialité est moins forte.

Exemple de résultats :

Exemple de délimitation sur image Avnir



Il en résulte une couche de polygone couvrant l'ensemble de la zone test

B.II.6.2 Apport des images Radar

Les images radar utilisées ne contiennent une information que dans une longueur d'onde donnée. En simplifiant un peu, l'image est donc une image en niveau de gris, un peu à la manière d'une photographie aérienne en noir et blanc. Des processus de traitements automatisés peuvent être utilisés pour des discriminations de milieux particuliers avec des réponses homogènes comme cela peut être le cas pour les plans d'eau (*Sandoz et al, 2004*). Dans le cas présent, la complexité de la réponse enregistrée sur l'image ne permet pas de traitements de ce type. La méthode analogique de type photo-interprétation est celle que nous avons retenue car la seule possible.

L'imagerie radar peut apporter une information complémentaire du fait qu'elle ne tient pas compte de la composante radiométrique chlorophyllienne des éléments de surface et qu'elle pénètre en partie la végétation, et dans une moindre mesure, les premiers cm du sol. Par exemple, les images radar laissent apparaître par endroit des paléo-chenaux qui n'apparaissent pas ou peu sur les images satellitaires optiques ou infrarouge.

Toutefois, une corrélation entre les données satellitaires visibles et exogènes est indispensable pour analyser ces images.

Le premier objectif a été de comparer les deux solutions retenues (deux images monopolarisée ou une image bipolarisée) afin de vérifier celle qui permet de mieux mettre en évidence des éléments relatifs à l'humidité des sols qui ne sont pas déjà présents sur les images visibles.

La solution bipolarisée se révèle plus pauvre en information. La combinaison des deux bandes n'apporte pas d'information discriminante du taux d'humidité. La raison en est probablement que la rugosité des surfaces prend le dessus sur le reste de l'information. Ainsi les deux polarisations différencient majoritairement ce caractère.

La seconde solution est plus intéressante, elle est toutefois plus liée à l'utilisation de deux dates d'une pluviométrie sensiblement différente qu'à une réelle caractéristique physique mise en évidence. Les images ont été simplement superposées avec des palettes de couleur différentes avec un fond de transparence.

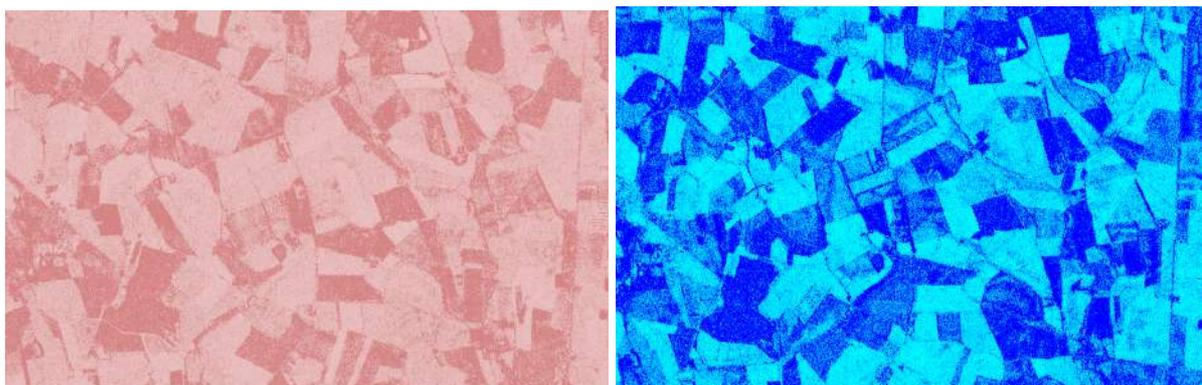


Image Radar Palsar : 15 avril 2008

Image Radar Palsar : 26 Février 2007



Superposition des 2 images Radar : cumul d'information

Les informations résultant de chaque image sont cumulées par simple effet de transparence et les réseaux de paléo-chenaux se dessinent plus distinctement. L'information visible sur cette combinaison de bande correspond principalement à des traces dans les champs pouvant mettre en évidence des paléo-chenaux et traces résiduelles d'humidité. De plus, l'occupation du sol est différente entre les deux dates d'acquisition, ce qui permet d'obtenir des parcelles de culture sans végétation à des endroits différents sur lesquelles les traces d'humidité peuvent être détectables sur les images satellitales.

Au final, ce sont les Images à une seule polarisation apporte plus d'information qu'une image bipolaire.

Exemple 1 - Comparaison d'images AVNIR ET RADAR

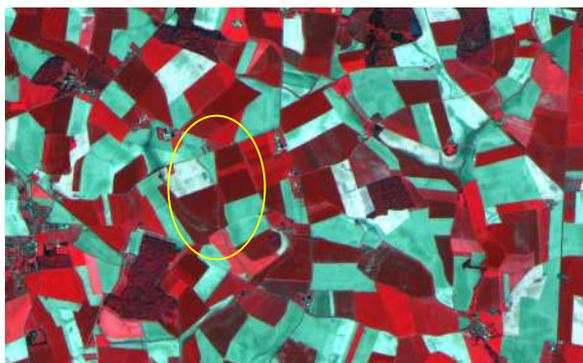
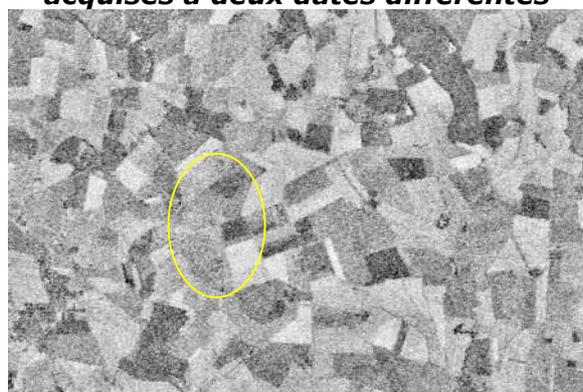


Image AVNIR

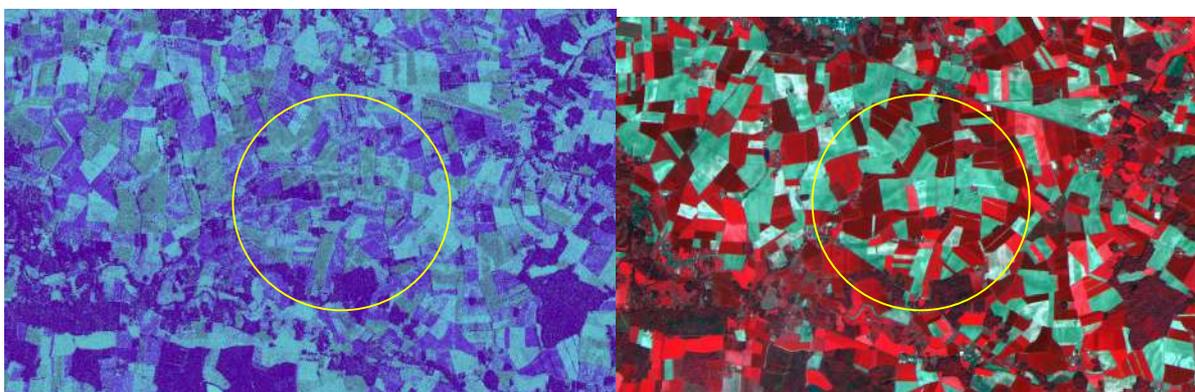


***Deux Images Radar à une polarisation
acquises à deux dates différentes***



1 Image Radar bipolaire

Exemple 2 - Comparaison d'images AVNIR ET RADAR



Les images radar acquises à deux dates différentes (deux images à une polarisation) laissent apparaître par endroit les paléo-chenaux qui permettent d'affiner la photo-interprétation.

Néanmoins, le travail de photo-interprétation de base est axé principalement sur les images satellitales visibles de type AVNIR (images de référence) puisque les images possédant des canaux infrarouges font ressortir l'humidité latente. Les images radar sont complémentaires en certains endroits mais ne sont pas utilisées comme images de référence.

B.II.6.3 Mise en parallèle avec les données exogènes

Une première superposition spatiale est effectuée avec l'emprise des autres données exogènes. En parallèle de ce rapport, un dictionnaire a été réalisé où l'ensemble des données exogènes est présenté.

La superposition avec un masque réalisé à partir du réseau hydrographique de la BD_Topo et des surfaces en eau avec un «buffer» autour de 50 m montre que les zones de photo-interprétation d'après les images satellitales couvrent en partie ce masque et s'insère dans une logique de réseau hydrologique avec néanmoins des zones plus isolées.

Avec le masque de données issues d'inventaires du Conservatoire de Botanique d'Ile de France, les zones humides avérées rentrent en partie dans les zones photo-interprétées et par contre, de grandes zones le long des cours d'eau sont hors des zones d'interprétation et correspondent en particulier aux grandes parcelles de chêne pédonculé considérées comme « pro parte » selon la classification Corinne biotope.

Une partie des données issues de l'inventaire Ecomos est couverte par les zones de photo-interprétation. Les données de l'Inventaire de l'AESN effectué au 1/ 50000 concernent des parcelles résultantes plus vastes.

Il est difficile de comparer des données d'inventaire effectuée au 1/ 250 000 avec des données issues d'une interprétation effectuées au 1/ 25 000. De plus, les résultats pédologiques concernent des unités cartographiques et non des unités de sols. Néanmoins, de nombreux polygones de photo_interprétation sont situés en dehors des unités cartographiques. Même chose pour une comparaison avec les données pédologiques au 1/ 100 000.

Pour les données pédologiques au 1 / 50 000, les surfaces de zones potentiellement humides couvrent largement les zones hors des inventaires pédologiques.

B.II.6.4 Limites de la photointerprétation

. Les images satellitales permettent d'apporter des éléments sur des zones potentiellement humides en fonction de la présence de traces d'humidité en surface/subsurface détectées par télédétection.

. Néanmoins, ces zones potentiellement humides par photointerprétation 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.

Dans d'autres cas, le fait d'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. De plus, il peut y avoir des zones sans présence d'eau en surface mais qui correspondent quand même à la définition de l'arrêté. »

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 satellitaires 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 satellitaire 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, le MNT ou autres données comme par exemple 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, en l'occurrence dans notre zone test, aux zones agricoles car dans les secteurs en végétation le signal transmis peut être faussé par l'activité chlorophyllienne des plantes. A l'intérieur de ces zones agricoles, la détection est aussi 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 d'hivers et avec 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 entaché de critères de délimitation subjectifs propres au photo-interprète.

Enfin, les limites de la photo-interprétation résident également dans l'acquisition et le choix des images satellitaires en relation avec la pluviométrie et les missions de terrain. En effet, les dates d'acquisition des images satellitaires ne correspondent pas aux dates de mission d'où une impossibilité d'effectuer un parallèle entre la réponse spectrale de l'image et une quantification du taux d'humidité de surface sur le terrain (le détail par jour des précipitations précédant les missions terrain est consigné en Annexe 15).

- . Mission 1 : 10 mm cumulés dans les 15 jours et dans le mois précédent
- . Mission 2 : 14 mm cumulés dans les 15 jours précédents et 22 mm dans le mois précédent

Avec l'image AVNIR qui est notre image de référence pour la zone test, (date d'acquisition = 27 avril 2008) : la pluviométrie précédant l'acquisition de cette image est de 28 mm sous 15 jours alors que la pluviométrie précédant la mission terrain 1 correspondante est de 10 mm (sous 15 jours) et de 14 mm sous 15 jours pour la mission 2.

CONCLUSION :

Les zones potentiellement humides issues de la photo-interprétation des images satellitaires seront croisées et analysées plus finement avec les autres données exogènes dans la phase 3 de cette étude. Pour les zones humides identifiées, nous évaluerons les conditions pédologiques, topographique, d'éloignement d'un cours d'eau sur lesquelles, ou à proximité desquelles, ces zones humides sont présentes. Notre objectif est de caractériser des conditions environnementales favorables à la présence de zones humides et des conditions non favorables à la présence de zones humides. Ces conditions, positives ou négatives, seront établies à partir d'analyses spatiales au sein du SIG. De manière à évaluer la pertinence de chaque variable, nous analyserons pour les zones humides identifiées, les critères "favorables" à la présence de zones humides.

C. CROISEMENT DES DONNEES, HIERARCHISATION ET CREATION D'ENVELOPPES D'ALERTE

C.1 GRILLE DE HIERARCHISATION

La grille d'analyse pour permettre d'effectuer un zonage a fait appel à différents critères de sélection, d'un point de vue floristique et pédologique, mais aussi en tenant compte des méthodes d'inventaire requises et leur précision.

Les différents critères pris en compte sont les suivants :

- Echelle d'inventaire
- Taux de sondage
- Inventaire terrain ou non
- Objectif de l'étude
- Correspondance d'un point de vue floristique avec la liste des habitats et des espèces mentionnés dans l'arrêté du 24 juin 2008 et d'un point de vue pédologique avec la définition des sols hydromorphes listés dans le même décret.

Il est difficile d'évaluer quantitativement les différentes données exogènes et leur donner une valeur de confiance par rapport à leur caractérisation de zones potentiellement humides. En concertation régulière avec le comité technique et en fonction de la pertinence et de la valeur de chaque donnée pouvant répondre ou non aux critères de zones humides, 5 classes ont été définies :

Définition des 5 classes d'enveloppes potentiellement humides

Classe	Masque	Surface km2	Surface % par rapport IDF	
Classe 1	Délimitation de zones humides réalisées par des diagnostics de terrain selon des critères et méthodologie décrite dans l'arrêté du 24 juin 2008 modifié	CBNBP : Zone humide stricte avec expertise In situ	1,2	0,01
	Classe 2	Zones humides identifiées selon les critères de l'Arrêté du 24 juin 2008 mais dont les limites n'ont pas été réalisées par des diagnostics de terrain (photo-interprétation) Ou Zones humides identifiées par des diagnostics terrain mais à l'aide de critères et/ou d'une méthodologie différents de celle de l'arrêté. Les limites et le caractère humide des zones peuvent être revérifiés par les pétitionnaires.	CBNBP : Zone humide stricte avec expertise Ex situ	0,6
ECOMOS : Zones identifiées comme humides hors peupleraies		126,3	1,0	
PNR Chevreuse : Zones identifiées comme humides lorsque ceux-ci utilisent une méthode d'inventaire différente de celle qui est décrites dans l'arrêté du 24 juin modifié		14,1	0,1	
DIREN - Cartographie et inventaire des forêts alluviales de la vallée de la seine		41,3	0,3	
Unité de sol humide à 100% dans les inventaires pédologiques au 1/50000ème		42,5	0,4	
Unité cartographique de sols humides à 100% dans les inventaires pédologiques au 1/100 000ème		19,3	0,2	
Zones identifiées comme humides sur les images satellitales localisés sur des UC de sol humides à + de 60% dans les inventaires pédologiques au 1/100 000ème		3	0,02	
Zones identifiées comme humides sur les images satellitales localisées sur des unités cartographiques de sol humides à + de 80% dans les inventaires pédologiques au 1/250 000ème		17,6	0,1	
Classe 3	Probabilité importante de zones humides. Mais le caractère humide et les limites restent à vérifier et à préciser	CBNBP : habitats « p » : proparte In situ et Ex situ	12,4	0,1
		AESN : Zones identifiées comme humides	377,6	3,1
		ECOMOS : Zones de peupleraies identifiées comme potentiellement humides	101,7	0,8
		«buffer» cours d'eau et plans d'eau avec plan d'eau	1559	12,9
		CASSINI : Délimitation des étangs	44,6	0,4
		PNR OISE - Zone potentiellement humide correspondant à des "fonds de vallées et espaces connexes"	11,4	0,1
		PNR VEXIN - Données de ruissellement et de débordement auxquelles une zone tampon est appliquée	2,9	0,0
		Unité cartographique de sols humides à 100% dans les inventaires pédologiques au 1/250 000ème	918,6	7,6
		Unités cartographiques de sol humides à + de 80% dans les inventaires pédologiques au 1/250 000ème (hors zones photo-interprétées sur images satellitales)	1090,6	9,0
		Unité cartographique de sols humides à + de 60% dans les inventaires pédologiques au 1/100 000ème (hors zones photo-interprétées sur images satellitales)	27,44	0,2
		Zones identifiées comme humides sur les images satellitales qui ne sont pas situées sur des unités cartographiques de sols suffisamment humides pour rentrer dans l'autre classe (zones restantes)	328,3	2,7
		Géologie Marnes vertes	326,6	2,7

Classe 4	Enveloppe ou manque d'information ou données indiquant une faible probabilité de présence de zones humides	Zones en dehors des masques des 3 classes précédentes		
Classe 5	Non humides	Plan d'eau	75,7	0,6
		Réseau Hydrographique	108,3	0,9

Surface Région Ile-de-France : 12128km².

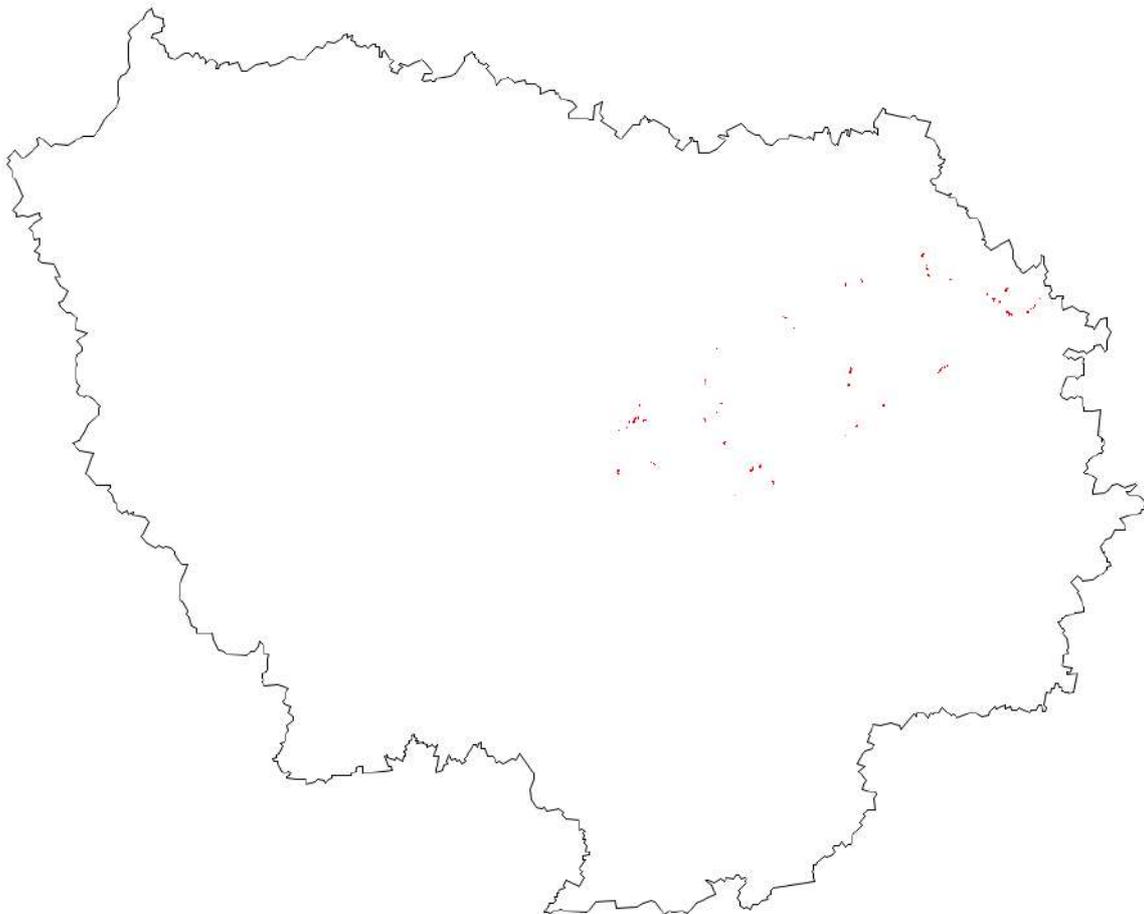
C.1.1 Classe 1

Définition classe 1 : La classe 1 correspond à la délimitation de zones humides réalisées par des diagnostics de terrain selon des critères et une méthodologie correspondant à ceux décrits dans l'arrêté du 24 juin 2008 modifié.

Seules certaines données des travaux réalisés par le Conservatoire Botanique National du Bassin Parisien (CBNBP) correspondent à cette définition. Ce sont les parcelles dont l'inventaire a été réalisé par une expertise In situ et dont le type d'habitat et les espèces recensés correspondent à ceux de l'arrêté.

Ces parcelles d'inventaires n'ont été effectuées pour le moment que sur le département 93 et une partie seulement du 77. Leur surface représente 0.01 % de la surface totale de la région Ile de France.

Distribution spatiale de l'ensemble des données de la classe 1 :

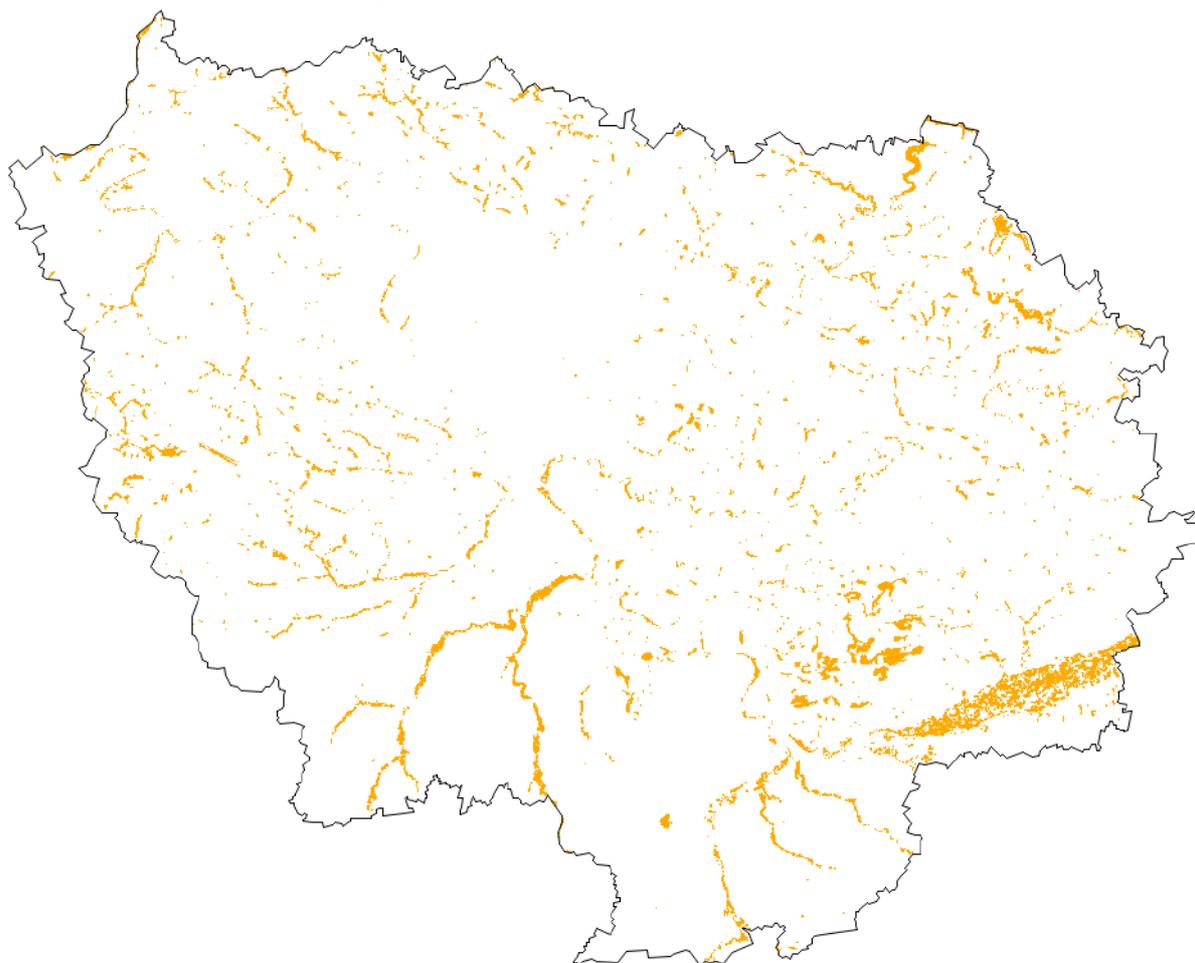


Détail du parcellaire de la classe 1:



C.1.2 Classe 2

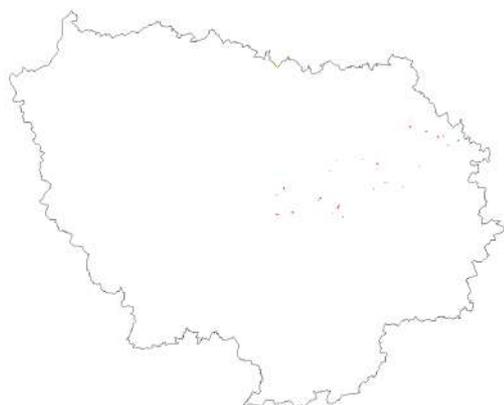
Définition Classe 2 : Ce sont des zones humides identifiées selon les critères de l'Arrêté du 24 juin 2008 mais dont les limites n'ont pas été réalisées par des diagnostics de terrain (photo-interprétation) **Ou alors** les zones humides ont été identifiées par des diagnostics terrain mais à l'aide de critères et/ou d'une méthodologie différents de celle de l'arrêté. Les limites et le caractère humide de ces zones peuvent être vérifiés à nouveau par les pétitionnaires.



Distribution spatiale de l'ensemble des données constituant la classe 2

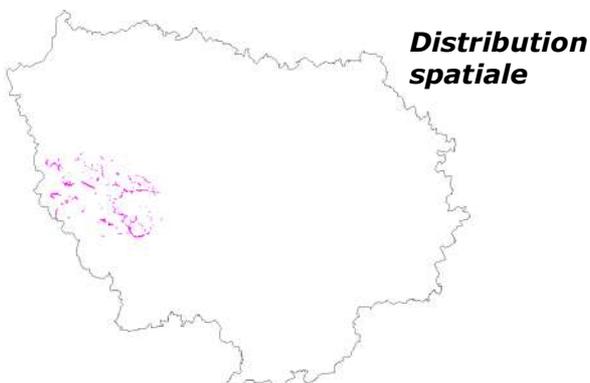
Les différentes données constituant cette classe 2 sont les suivantes :

. **CBNBP** : Parcelles considérées comme des zones humides strictes car les diagnostics des parcelles ont bien été faits selon les critères de l'arrêté mais n'ont pas été réalisés sur la base de prospections de terrain : expertise Ex situ



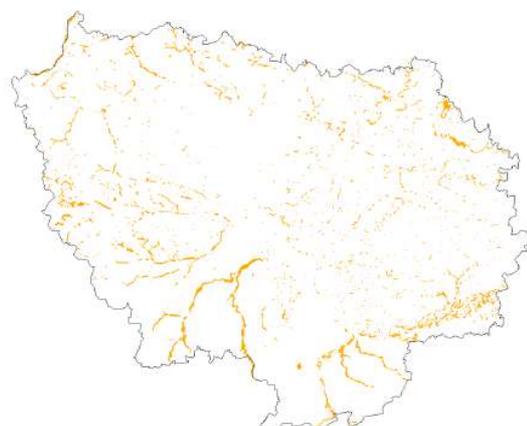
Distribution spatiale

. **PNR Chevreuse** – zones qui ont été identifiées comme humide sur la base des parcelles d'inventaire d'Ecomos mais qui utilisent une méthode d'inventaire différente de celle qui est décrite dans l'arrêté du 24 juin modifié. L'inventaire du PNR de Chevreuse repose sur l'Ecomos. Les diagnostics ont été faits par des spécialistes, au 1/25000 cependant ils n'ont pas été réalisés selon les méthodes précisées dans l'arrêté du 24 juin 2008 modifié. Toutes les parcelles définies comme humides ont été intégrées dans cette classe.



Distribution spatiale

. **ECOMOS** – Zones identifiées comme humide en dehors des peupleraies. Ces données constituent la plus grande part en terme de surface pour cette classe (56% de la classe 2). Les données de l'Ecomos ayant été réalisées au 1/250000ème par photo-interprétation et selon des méthodes de diagnostics différentes de celles demandées dans les arrêtes du 24 juin 2008 modifié. Les champs permettent de discriminer les parcelles humides. C'est pourquoi il a été décidé de les intégrer dans la classe 2. Les peupleraies ont été écartées de la classe 2 car elles ne suffisent pas à attester du caractère humide d'une parcelle.

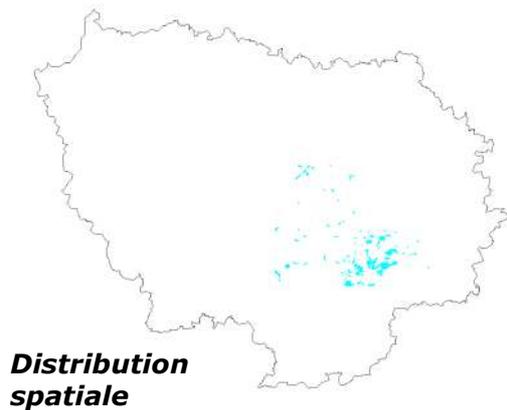


. **DIREN** – Inventaires des forêts alluviales de la vallée de la seine. L'échelle d'inventaire au 1/25000^{ème} et les critères retenus pour identifier ces forêts sont proches des critères de l'arrêté mais sans diagnostic de terrain.

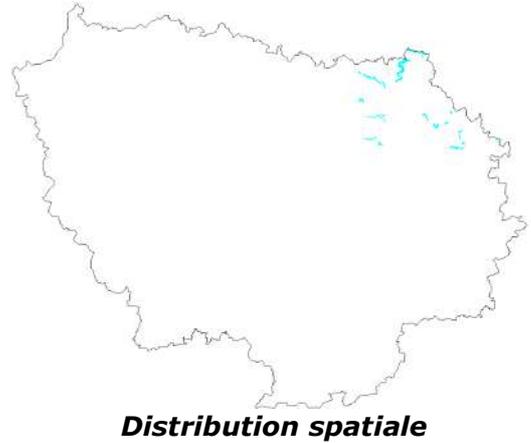


Distribution spatiale

. **PEDOLOGIE 1/50 000^{ème}** – Zones correspondant à des unités de sols humides à 100%. Bien que ces unités cartographiques renferment des zones humides selon la définition de l'arrêté du 24 juin 2008 modifié, l'échelle de représentation de ces données ne permet pas de les positionner dans la classe 1. Il en est de même pour les données pédologiques au 1/100000^{ème} dont les unités cartographiques contiennent 100% de type de sols (UTS) répondant aux critères de zones humides.



. **PEDOLOGIE 1/100 000^{ème}** – Zones correspondant à des unités cartographiques 100% humides. Données extraites de la feuille de Meaux. Il n'existe pas d'autres feuilles au 1/100000^{ème} sur la région IDF.



Les autres Unités cartographiques pédologiques au 1/100000^{ème} ayant moins de 100 % unités de sols répondant aux critères de zones humides selon la définition de l'arrêté du 24 juin 2008 modifié, ont été intersectées avec les polygones issus de la photo-interprétation des images satellitales. En cumulant les deux sources d'information (informations issues des cartes pédologiques et information provenant de la photo-interprétation), les polygones d'intersection résultants ont des limites potentielles de zones humides plus probables et précises.

Ce principe d'intersection entre les données pédologiques et les données de photo-interprétation a été appliqué pour la classe 2 :

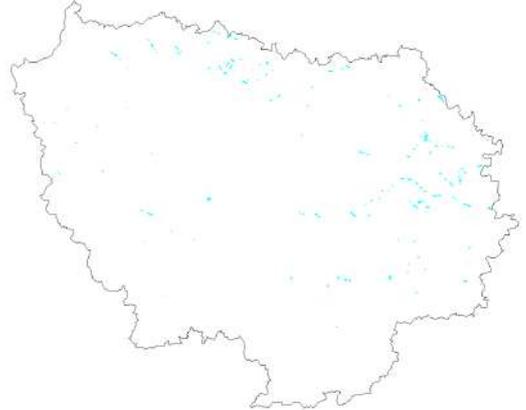
- . aux unités cartographiques de la pédologie au 1/100000^{ème} ayant entre 60% et 100% de types de sols correspondant à des zones humides selon l'arrêté modifié,
- . aux unités cartographiques de plus de 80% UTS pour la pédologie au 1/250000^{ème}. En effet, à cette échelle de représentation, la délimitation des unités est assez imprécise donc seules les UC de plus de 80% ont été pris en compte. C'est également pour la même raison que les UC, où 100% des types de sols correspondant aux critères de zones humides selon la définition de l'arrêté du 24 juin 2008 modifié, n'ont pas été prises en compte pour constituer une couche à part entière comme pour les données pédologiques au 1/50000^{ème} et au 1/100000^{ème}.

. **PEDOLOGIE 1/100000^{ème} et photo-
interprétation** - Zones issues de
l'intersection entre la photo-interprétation
des images satellitales et les unités
cartographiques de la carte pédologique au
1/100 000 supérieures à 60% de sols
humides de la couche pédologique au 1/100
000^{ème}.



Distribution spatiale

. **PEDOLOGIE 1/250000^{ème} et photo-
interprétation** - Zones issues de
l'intersection entre la photo-interprétation
des images satellitales et les unités
cartographiques supérieures à 80% de sols
humides de la couche pédologique au 1/250
000^{ème}.



Distribution spatiale

C.1.3 Classe 3

Définition Classe 3 : Enveloppe où il existe une probabilité importante de zones humides. Mais le caractère humide et les limites restent à vérifier et à préciser.

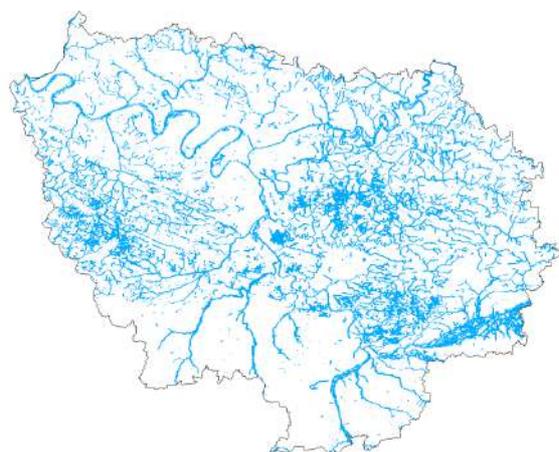


Distribution spatiale de la classe 3

En effet, dans cette classe ont été regroupés différents types de données où les précisions d'information ou de méthodes d'inventaires ont été estimées moins pertinentes par rapport à la classe 2.

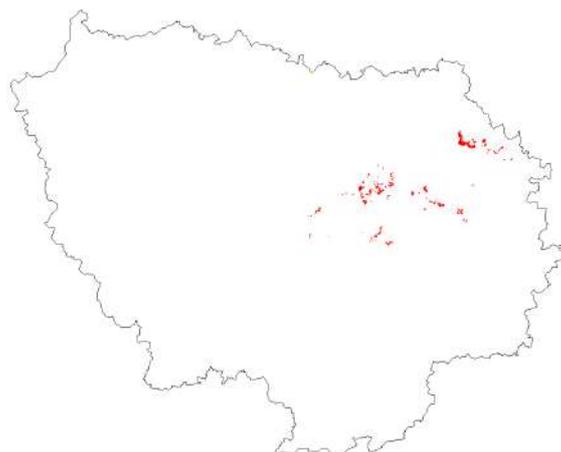
. «buffer» autour des cours d'eau et des plans d'eau :

La méthode d'obtention de cette couche est détaillée dans le chapitre A.II.4 de ce rapport. Elle constitue une couche théorique et, est entière obtenue à partir des données de la BDTopo et de la BDCarthage ainsi que du MNT de l'IGN. Elle détermine les zones potentiellement humides en connexion avec le réseau hydrographique existant et les plans d'eau inventoriés en fonction de critères de distances et de pentes théoriques. La probabilité de présence de zones humides est forte mais cette information n'a pas été obtenue selon les critères de l'arrêté modifié et les limites restent donc à vérifier et à préciser. Néanmoins, cette couche d'information est la plus importante en terme de surface par rapport aux autres couches d'informations utilisées pour effectuées cette étude. Elle représente 12.9% de la région Ile de France.



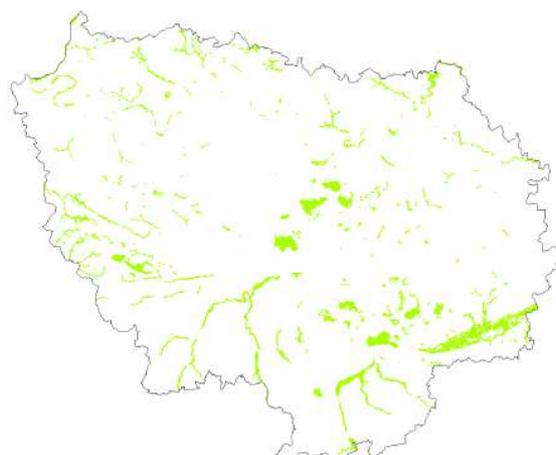
Distribution spatiale

. CBNBP - Parcelles considérées comme des zones d'habitats « p » : proparte avec une expertise In situ ou Ex situ. Ces habitats sont des zones de transition pour lesquelles la présence de zones humides est possible mais pas certaine. L'information reste donc à vérifier.



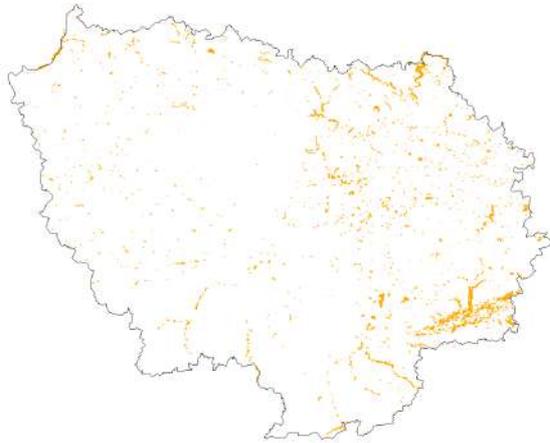
Distribution spatiale

. AESN - Parcelles qui ont été identifiées comme potentiellement humides. L'échelle de photo-interprétation au 1/50000^{ème} pour cette étude fait que cette donnée a été mise dans la classe 3.



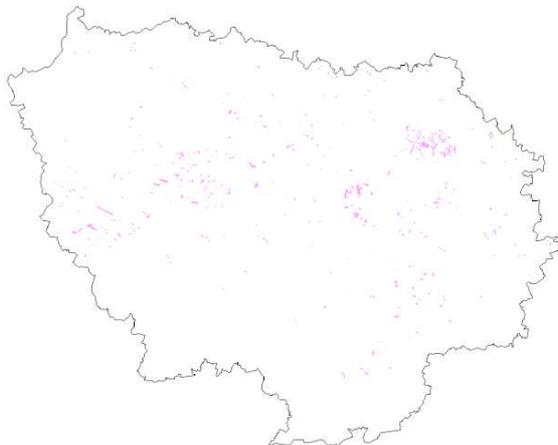
Distribution spatiale

. **ECOMOS** - Zones de peupleraies identifiées comme potentiellement humides. Les peupleraies ont été considérées comme des zones potentiellement humides donc classées en classe 3.



Distribution spatiale

. **CASSINI** – Recensement et limites des étangs à partir des cartes de Cassini. Ces données, étant des données historiques avec une certaine imprécision de positionnement, elles ont été mises dans cette classe.



Distribution spatiale

. **PNR OISE** - Zone potentiellement humide correspondant à des "fonds de vallées et espaces connexes". Ces données n'étant pas très précises par rapport à l'objectif de notre étude, elles ont été placées dans cette classe et demanderont à être vérifiées concernant la pertinence par rapport aux zones humides.



Distribution spatiale

. **PNR VEXIN** - Données de ruissellement et de débordement auxquelles une zone tampon est appliquée.



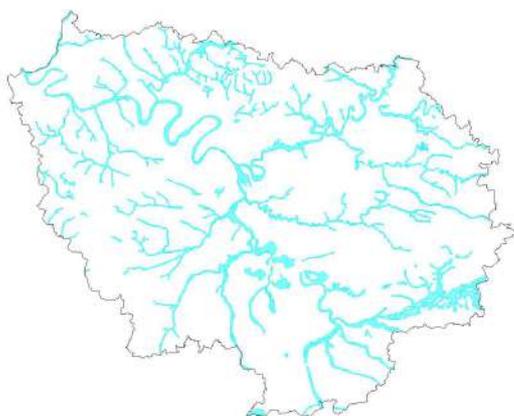
Distribution spatiale

. **PEDOLOGIE 1/250 000ème** - Unités cartographiques de sols humides à 100% dans les inventaires pédologiques au 1/250 000ème. Par rapport à l'échelle de l'étude, même si les unités cartographiques ayant plus de 100% de type de sols correspondant aux critères de l'arrêté modifié, cette information a été consignée dans cette classe, plutôt que dans la classe 2.



Distribution spatiale

. **PEDOLOGIE 1/250 000ème** - Unités cartographiques de sol humides à + de 80% dans les inventaires pédologiques au 1/250 000ème en dehors des zones photo-interprétées sur les images satellitales, c'est à dire sans les polygones de photo-interprétation.



Distribution spatiale

. **PEDOLOGIE 1/100 000ème** - Unité cartographique de sols humides à + de 60% dans les inventaires pédologiques au 1/100 000ème en dehors des zones photo-interprétées sur les images satellitales, c'est à dire sans les polygones de photo-interprétation.



Distribution spatiale

. **PHOTO-INTERPRETATION** - Zones identifiées comme humides par photo-interprétation sur les images satellitales qui ne sont pas situées sur des unités cartographiques de sols suffisamment humides pour rentrer dans l'autre classe (zones restantes).

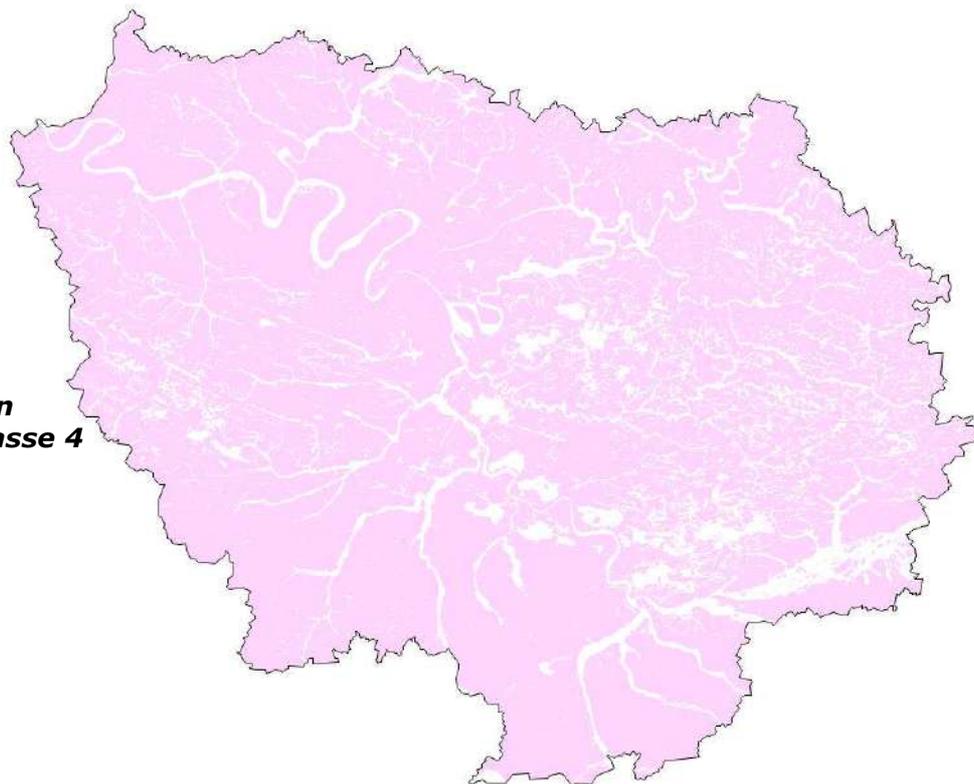


Distribution spatiale

C.1.4 Classe 4

Définition Classe 4 : Enveloppe où il manque des informations, ou alors les données indiquent une faible probabilité de présence de zones humides. Cette couche d'information est le négatif des 4 autres classes. Elle a été obtenue en soustrayant de la surface de l'ensemble de la région Ile de France, les polygones des 4 autres classes.

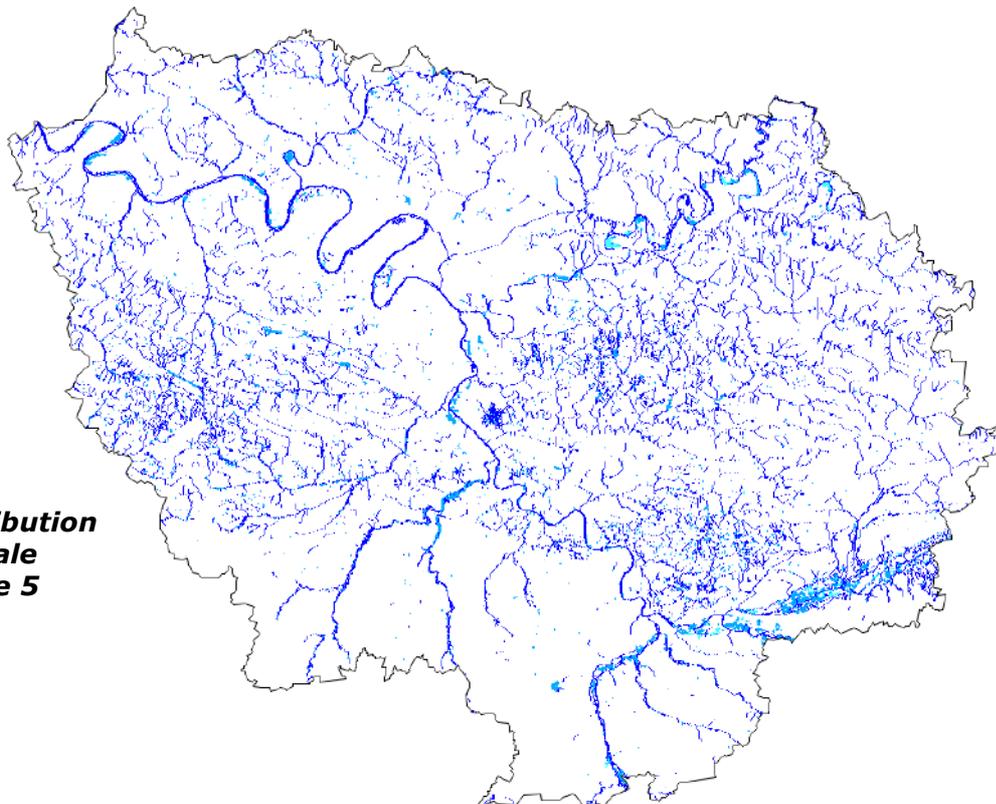
Distribution spatiale classe 4



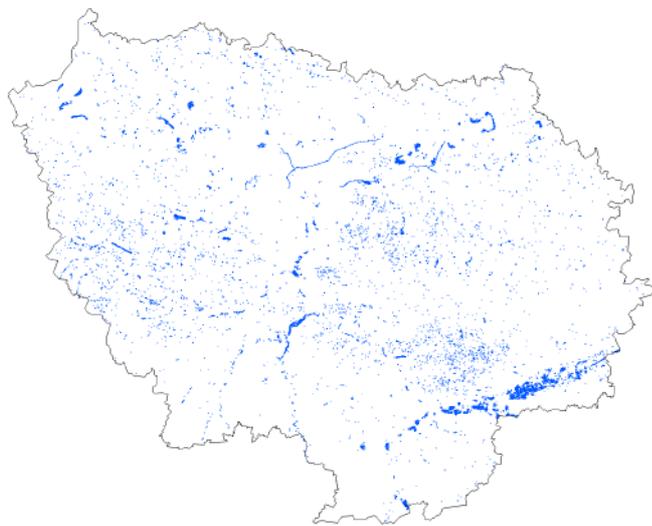
C.1.5 Classe 5

Définition Classe 5 : Enveloppe de zones identifiées comme des zones en eau correspondant à des plans d'eau ou des cours d'eau mais n'étant pas considérées comme des zones humides.

Distribution spatiale classe 5

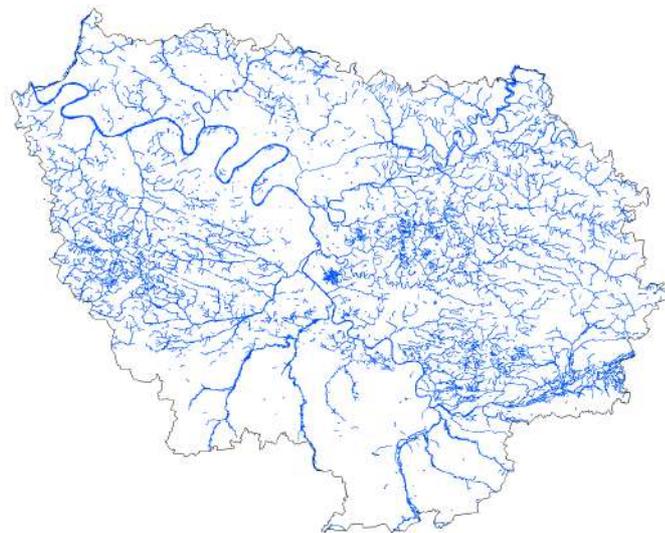


. **Plans d'eau** – Surface en eau sélectionnée selon certains critères à partir des données de la BD Carthage et de la BD Topo. Le détail du choix de ces plans d'eau est développé dans le chapitre A.II.4.



Distribution spatiale

. **Réseau hydrographique** – Sélection des réseaux hydrographiques selon certains critères à partir des données de la BD-Topo et de la BD-Carthage. Le détail du choix de ces plans d'eau est consigné dans le chapitre A.II.4.



Distribution spatiale

C.2 METHODOLOGIE DE CREATION D'ENVELOPPE

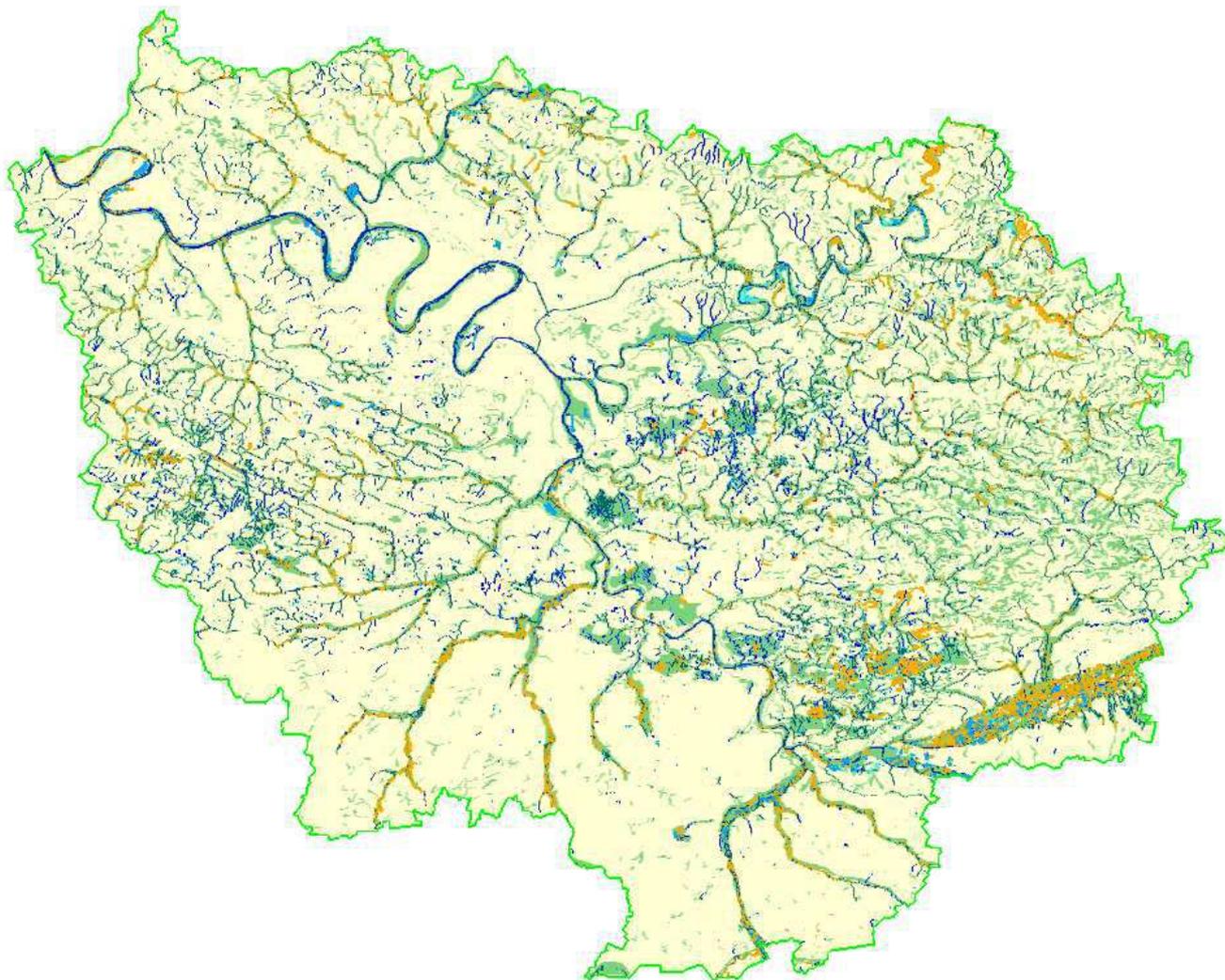
Le croisement de toutes ces données est une opération délicate étant donné les origines très hétérogènes des couches d'information, surtout dans un processus de fusion où les précisions des données sont différentes. Il s'agit, dans le cas de notre étude, de croiser des données provenant aussi bien d'inventaires précis de terrain, comme les données du CBNBP, que des données élaborées pour des échelles au 1/250 000ème comme les données pédologiques du BRGM.

En plus, des finesses et des précisions de délimitation de chaque couche d'information selon la méthode d'inventaire, les couches d'information identifiées se superposent en certains endroits au sein d'une même enveloppe ou d'une enveloppe à l'autre. La surface d'intersection des données entre-elles, pour au moins deux types de source de données différentes, représente 2403 km².

Pour les couches d'information au sein d'une même enveloppe, au départ, nous souhaitons fusionner ces différentes couches entre-elles tout en gardant l'information attributaire propre à chaque donnée source dans le fichier final. Il aurait été nécessaire pour les zones communes entre les couches de renseigner la table sur les différentes sources d'information des polygones communs. Il s'est avéré que cela était très compliqué à créer d'une part et, d'autre part, à gérer par la suite et engendrait une couche attributaire très complexe.

Afin de faciliter la réalisation, ainsi que la lecture des données, la couche résultante pour chaque enveloppe ne comprend pas les données attributaires des fichiers source. Si l'on souhaite visualiser l'origine des données constituant les enveloppes, les couches d'informations de bases pour chaque enveloppe sont fournies dans le cadre de cette étude et il est donc possible de retrouver la source d'information par simple superposition sous SIG des différentes couches.

Par contre, à l'origine, certaines données au sein d'une même enveloppe se superposent avec des données d'une ou de plusieurs autres enveloppes. Une priorité aux cinq enveloppes a été attribuée pour choisir sur les zones communes, l'information à mettre en priorité dans une enveloppe par rapport à une autre enveloppe.



Distribution spatiale des 5 enveloppes d'alerte

C.2.1 Priorisation des enveloppes d'alerte

Lorsque deux polygones d'enveloppe différente auront une partie en commun, le code du polygone d'intersection affecté, est celui de l'enveloppe prioritaire.

Ordre thématique des classes :

L'Enveloppe contenant toutes les zones en eau (Enveloppe classe 5) même si elle n'est pas considérée comme une zone humide est prioritaire en terme surfacique car l'emprise de ces zones en eau est celle réellement observée sur la BD_Ortho. Ensuite s'enchaînent les autres classes par degré de pertinence par rapport à la délimitation des zones humides.

Donnée la plus pertinente
donc prioritaire



- . Classe 5
- . Classe 1
- . Classe 2
- . Classe 3
- . Classe 4

Donnée la moins
pertinente

C.2.2 Méthode d'assemblage des différentes enveloppes entre elles

C.2.2.1 Etapes de réalisation des différentes couches :

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 on intègre après les couches les moins complexes en tenant compte de leur priorité par rapport au type d'enveloppe et on réaffecte les codes d'enveloppe appropriés pour les polygones d'intersection en fonction de leur priorité.

. 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 réellement observée sur la BD Ortho. Cela correspond à la classe 5.

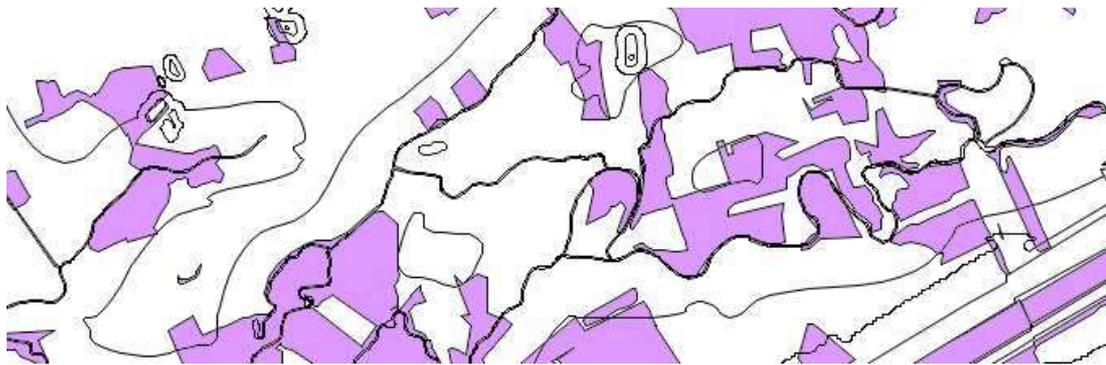
. En deuxième, le «buffer» autour des plans d'eau de l'enveloppe classe 3 qui est directement lié à la classe 5 des plans d'eau.

. Puis la classe 1 vient ensuite en priorité dont le caractère humide est inventorié selon les critères et les méthodologies décrits dans l'arrêté du 24 juin 2008 modifié.

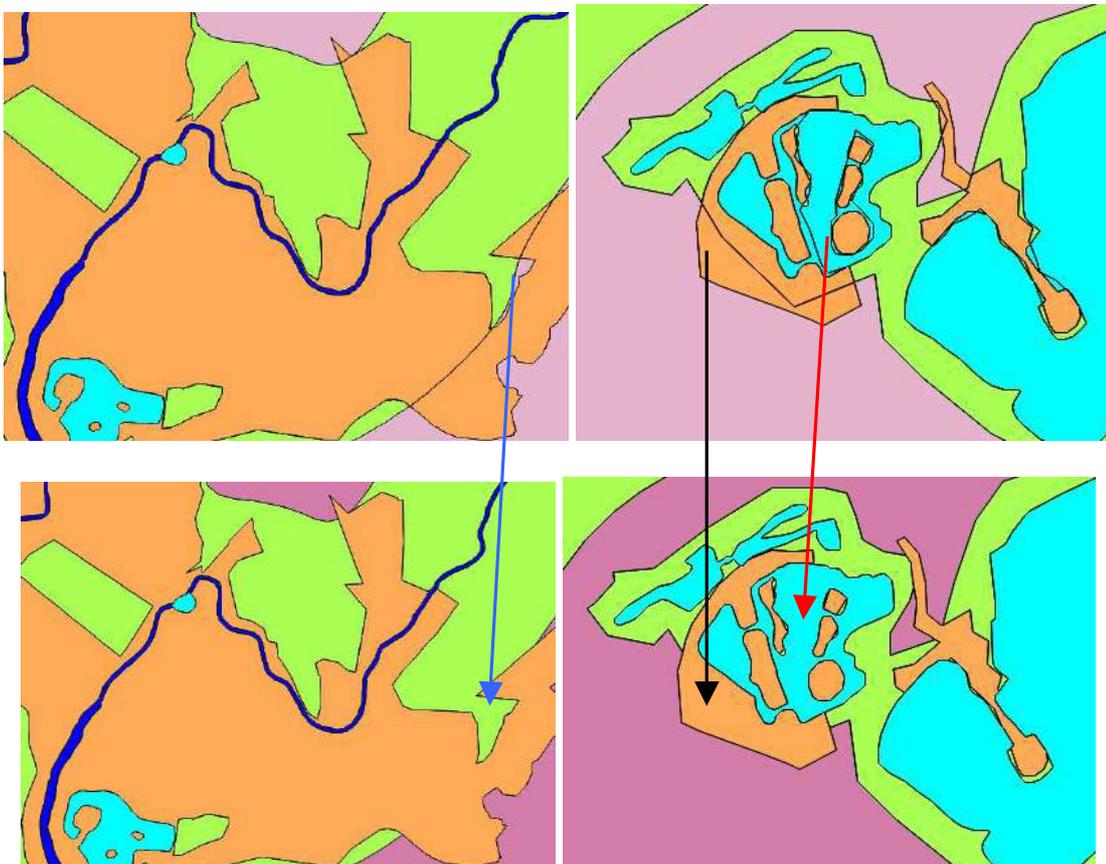
. Puis la classe 2, suivi de la classe 3 (hors «buffer» plan d'eau et cours d'eau).

C.2.2.2 Différents exemples de résultats de fusion

Afin d'obtenir une couche unique qui sera la base de la carte finale de pré-localisation des zones humides selon les 5 classes retenues, il est nécessaire de croiser les couches entre-elles en priorisant l'emprise de chaque couche par rapport aux autres.



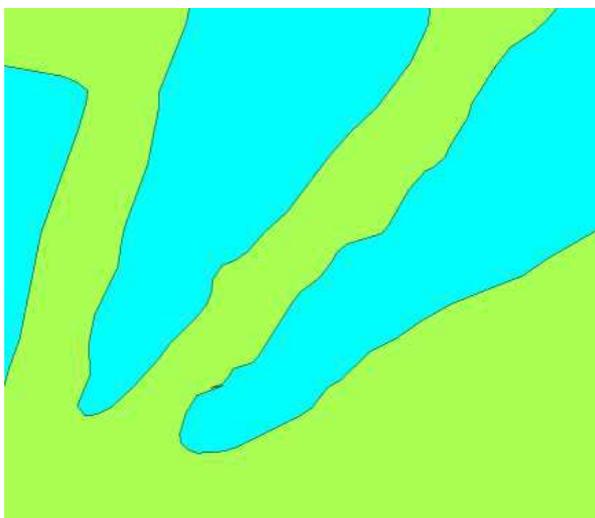
Exemple du croisement de la couche «buffer» + eau (classe 5 et 3) avec la couche Ecomos humide (classe 2) en violet. Il est nécessaire d'éliminer les parties du «buffer» eau qui recourent l'Ecomos puisque celui-ci est prioritaire ; mais également de préserver les cours d'eau et plans d'eau (classe 5) dont l'emprise n'est pas discutable car réellement observée sur la BD Ortho.



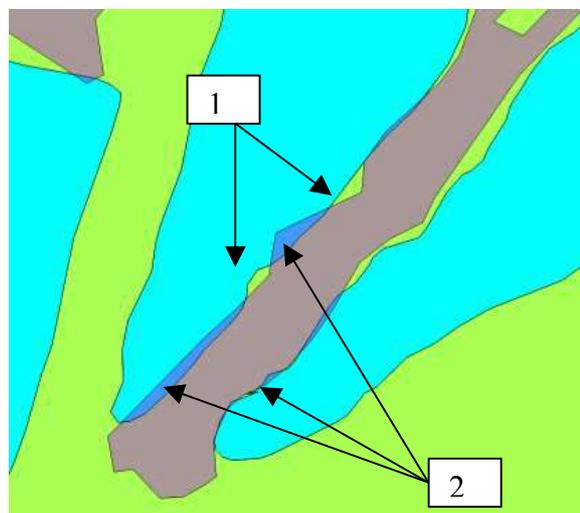
Type de traitements à réaliser sur les couches plans d'eau + «buffer» et Ecomos humide fusionnées

- **Cas 1 (flèche noire)** : les limites du «buffer»-eau contenues dans les polygones Ecomos humide doivent disparaître car ce dernier est prioritaire.
- **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 1/25000.
- **Cas 3 (flèche rouge)** : les limites de la couche Ecomos humide 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 de l'Ecomos étant

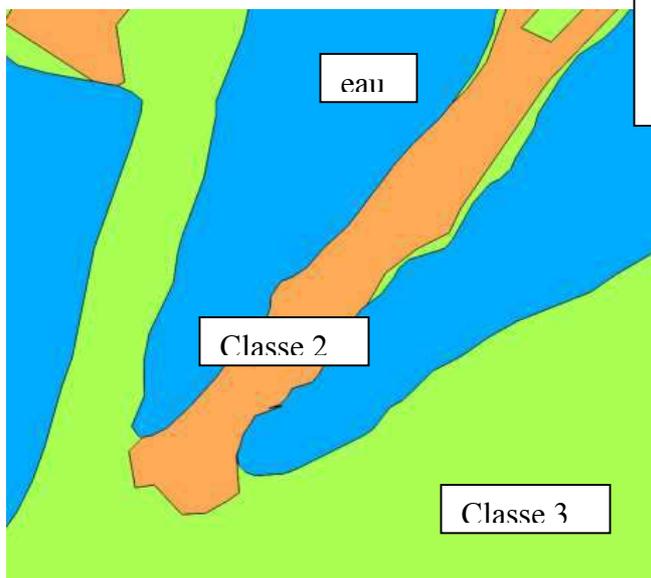
moins précis que la délimitation des plans d'eau, fait que la zone Ecomos délimitait une seule île dans le plan d'eau alors qu'en réalité, il y en a trois. Le polygone de l'Ecomos est donc re-découpé en utilisant les limites des plans d'eau. On voit bien ce travail sur l'exemple ci-dessous.



Etape 1 : plan d'eau en cyan et son buffer en vert

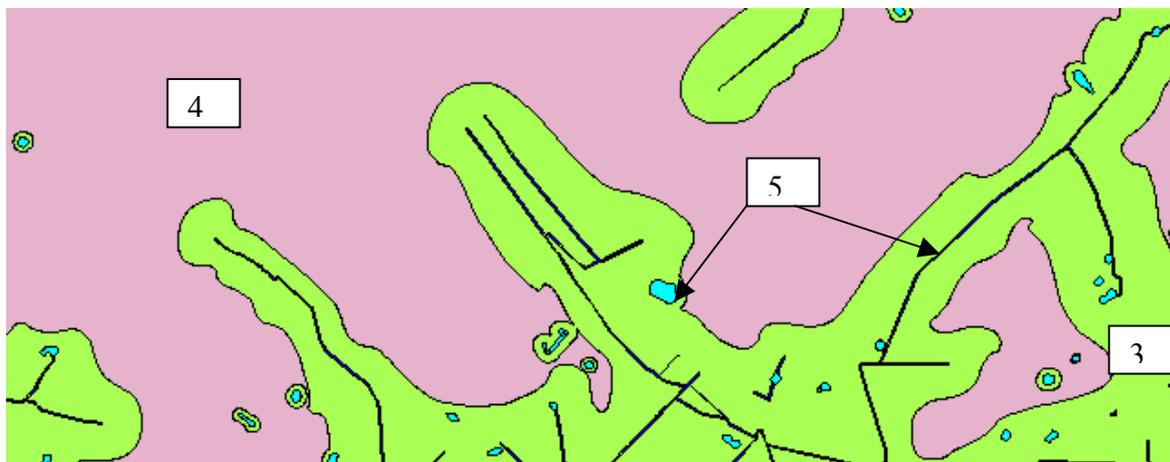


Etape 2 on ajoute l'Ecomos et on remarque que la limite mord parfois sur le plan d'eau (bleu foncé) ou à l'inverse ne cale pas à la bordure du plan d'eau . Ceci est simplement lié au fait que l'Ecomos n'a pas utilisé la limite du plans d'eau comme limite extérieure



Etape 3 traitement des limites
a) on découpe l'Ecomos sur la limite du plan d'eau (2) pour garder la limite de celui-ci intacte
b) à l'inverse, lorsque l'Ecomos s'écarte de la limite du plan d'eau et forme un petit polygone (1), le petit polygone est assimilé à celui de l'Ecomos. La taille limite des polygones a assimiler a été fixé à 600 m² ce qui représente 1 mm carré sur une carte au 1/25 000.

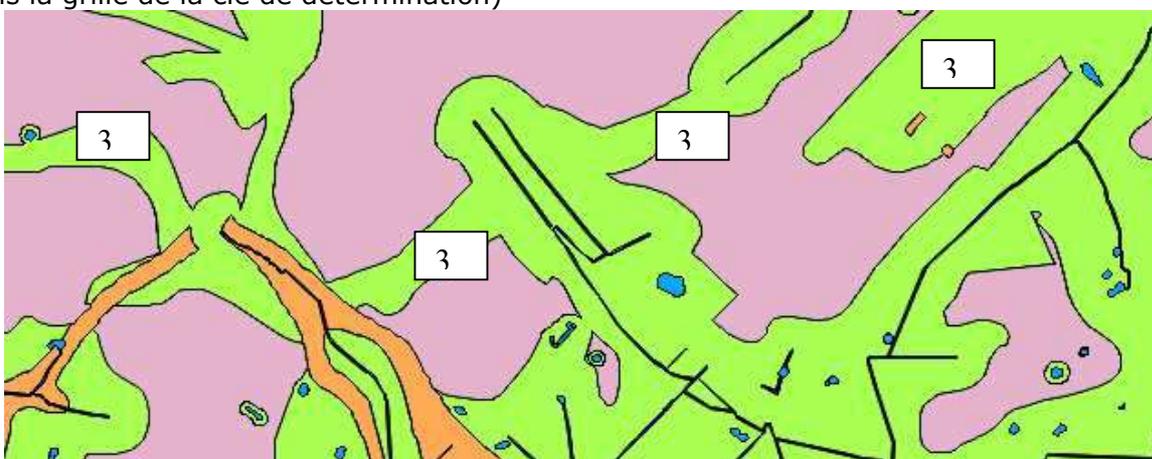
En résumé, on part de la couche la plus complexe (nombre important de polygones et découpage précis) qui contient les cours d'eau, les plans d'eau (classe 5 : bleu) et le «buffer» autour des plans d'eau et des cours d'eau (classe 3 : vert). L'extérieur forme temporairement la classe 4 (couleur rose schéma ci-dessous), tandis que les plans et cours d'eau forment la classe 5.



Puis on intègre les polygones de classe 1 (Inventaire du CBNBP : zone humide stricte)
 Puis on intègre les polygones de classe 2 ici en jaune (voir liste dans la grille de la clé de détermination)



Puis on intègre le reste des polygones de classe 3 (zones supplémentaire en vert et voir la liste dans la grille de la clé de détermination)



A chaque étape, une procédure de filtrage est appliquée pour agréger les petits polygones créés par cette fusion de couches selon les règles suivantes :

C.2.2.3 Descriptions précises des étapes de réalisation

1/ Agrégation de la couche de classe 1 avec la couche plans d'eau, cours d'eau et «buffer»

- Elimination des polygones de classe 1 situés dans les parties en eau (classe 5).
- Elimination des polygones de classe 3 < 600 m² compris entre deux polygones de classe 1 et/ou 5 par agrégation avec les polygones de la classe 1.
- Elimination des polygones de classe 3 < 600 m² compris entre deux polygones de classe 1 et 4 par agrégation avec les polygones de la classe 4.
- Elimination des polygones de classe 4 < 1500 m² compris entre deux polygones de classe 3 et/ou 1 ou 5 par agrégation avec les polygones de la classe 3.
- Elimination des îles de classe 4 < 1500 m² incluses dans un polygone de classe 3 ou 1 par agrégation à la classe 3 ou 1.
- Elimination des polygones de classe 1 < 600 m² compris entre deux polygones de classe 3 et/ou 4 et/ou 5 par agrégation avec les polygones de la classe 4 en premier, ou 3 en second.
- Elimination des îles de classe 3 < 600 m² incluses dans un polygone de classe 1 par agrégation à la classe 1.
- Elimination des îles de classe 4 < 1500 m² incluses dans un polygone de classe 1 par agrégation à la classe 1.

Néanmoins, cela nécessite un contrôle visuel systématique pour traiter les cas particuliers.

2/ Agrégation des couches de classe 2 avec la couche précédente.

- Elimination des polygones de classe 2 situés dans les parties en eau (classe 5).
- Elimination des polygones de classe 2 situés dans un polygone de classe 1.
- Elimination des polygones de classe 2 < 600 m² compris entre deux polygones de classe 1 et/ou 3 et/ou 5 par agrégation à la classe 1 ou 3 dans l'ordre de priorité.
- Elimination des polygones de classe 3 < 600 m² compris entre deux polygones de classe 1 et/ou 2 et/ou 5 par agrégation à la classe 1 ou 2 dans l'ordre de priorité.
- Elimination des polygones de classe 2 < 600 m² compris entre deux polygones de classe 1 ou 3 et 4 par agrégation à la classe 4.
- Elimination des polygones de classe 3 < 600 m² compris entre deux polygones de classe 1 ou 2 et 4 par agrégation à la classe 4.
- Elimination des polygones de classe 4 < 1500 m² compris entre deux polygones de classe 3 et/ou 1 ou 5 par agrégation à la classe 3.
- Elimination des îles de classe 4 < 1500 m² incluses dans un polygone de classe 3 ou 1 ou 2 par agrégation à la classe 3 ou 2 ou 1.
- Elimination des polygones de classe 2 < 600 m² compris entre deux polygones de classe 3 et/ou 4 et/ou 5 par agrégation à la classe 4 en premier, ou 3 en second.
- Elimination des îles de classe 3 < 600 m² incluses dans un polygone de classe 2 par agrégation à la classe 2.
- Elimination des îles de classe 2 < 600 m² incluses dans un polygone de classe 1 par agrégation à la classe 1.
- Elimination des îles de classe 4 < 1500 m² incluses dans un polygone de classe 1 par agrégation à la classe 1.

Un contrôle visuel est nécessaire aussi à la fin de cette étape pour traiter les cas particuliers.

Pour les polygones restant de la classe 3 (polygones hors « »buffer» cours d'eau et plans d'eau »), la procédure d'agrégation des couches de cette classe avec la couche précédente est la même que la précédente.

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

C2.3 Analyse des surfaces

D'un point de vue surfacique, la classe résultant d'une analyse des données existantes la plus importante est la classe 3, occupant 20.1 % de la région Ile de France. La classe 1 constituant les zones humides répondant aux critères de l'arrêté du 24 juin 2008 modifié ne représente que 0.008 % de l'Ile de France.

Classes d'enveloppes d'alerte potentiellement humides		Surface km2	Surface % par rapport IDF
Classe 1	Délimitation de zones humides réalisées par des diagnostics de terrain selon des critères et méthodologie décrite dans l'arrêté du 24 juin 2008 modifié	1	0,008
Classe 2	Zones humides identifiées selon les critères de l'Arrêté du 24 juin 2008 mais dont les limites n'ont pas été réalisées par des diagnostics de terrain (photo-interprétation) Ou Zones humides identifiées par des diagnostics terrain mais à l'aide de critères et/ou d'une méthodologie différents de celle de l'arrêté. Les limites et le caractère humide des zones peuvent être revérifiés par les pétitionnaires.	226	1,9
Classe 3	Probabilité importante de zones humides. Mais le caractère humide et les limites restent à vérifier et à préciser	2439	20,1
Classe 4	Enveloppe ou manque d'information ou données indiquant une faible probabilité de présence de zones humides	9280	76,49
Classe 5	Zones en eau - Plan d'eau (74 km ²) et cours d'eau (108 km ²)	182	1,5
TOTAL		12128	100,0

C.3 MISE A JOUR DE L'OUTIL

Lorsque de nouvelles données seront disponibles pour alimenter la base de données « Enveloppes d'alerte potentielles », plusieurs étapes seront nécessaires.

- 1/ Evaluation de la donnée et affectation à l'une des cinq enveloppes définies dans cette étude.
- 2/ Création d'une table attributaire en spécifiant le numéro de la classe à laquelle appartiennent ces données.
- 3 / Fusion de cette couche avec la couche « Enveloppe-alerte » qui engendre une intersection avec les autres enveloppes en fonction de l'ordre de priorité de la nouvelle couche.
- 4/ Réaffectation des codes des polygones en fonction des numéros de classe des polygones intersectés et de l'ordre de priorité de la nouvelle couche ainsi que de la surface des polygones d'intersection selon les procédures décrites dans le chapitre précédent.
- 5/ Contrôle visuel pour gérer les cas particuliers et contrôle qualité

D. DELIVRABLES

Les livrables se présentent sous la forme de deux types :

- Les documents explicatifs
- Les données SIG

D.1. LES RAPPORTS

Tous les documents sont fournis au format pdf.

- . Le rapport de fin d'étude
- . Les annexes du rapport final
- . Le dictionnaire de données décrivant les données constituant le SIG

D.2. LES DONNEES SIG

Les données SIG sont constituées de :

- . Données RASTER concernant les images satellitaires
- . Données VECTEUR concernant les données exogènes, les données de traitement, les données photo-interprétées et les enveloppes d'alerte finales
- . Données ATLAS de présentation finale des données

D.2.1 Les données RASTER

Pour chaque donnée image satellitale, sont fournies les données brutes et les images avec une certaine composition colorée au format Géotif. Certaines images satellitales mosaïquées pour avoir un seul fichier couvrant la région Ile de France, ont été découpées en tuiles de différentes tailles afin d'alléger la taille des fichiers en fonction de la capacité mémoire des ordinateurs susceptibles de les ouvrir.

De plus, un fichier KMZ a été produit, qui est un fichier kml de compression ouvrable sous Google Earth. Ces fichiers permettent de visualiser l'emprise des images satellitales ou tuiles mais ne sont pas en pleine résolution par rapport aux images d'origine, c'est à dire que les fichiers n'ont pas la même taille de pixel d'où des images plus floutées que les images en Géotif.

Les fichiers fournis concernent les images satellitales suivantes :

- ALOS_AVNIR
- ALOS_PALSAR
- EOS_ASTER
- LANDSAT

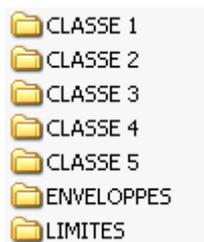
Pour chaque type d'images satellitales l'organisation des fichiers est la suivante :



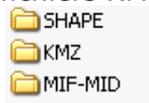
D.2.2 Les données VECTEURS

Les données vecteurs sont fournies au format MIF/MID qui est le format de MAPINFO et SHAPE qui est le format ArcGis. Comme pour les images RASTER, un fichier KMZ a été créé lorsque la taille du fichier le permettait. En effet, certains fichiers vecteurs, comme celui avec les « buffers » autour des plans d'eau et des cours d'eau, contiennent trop d'information pour être converti en fichier KMZ.

Tous les fichiers de données ayant servis de base à la constitution des enveloppes sont fournis. Les données ont été organisées par « Classe » de la clé de détermination :



Et pour chaque couche d'information, un répertoire de fichier MIF/MID, 1 répertoire SHAPE et 1 répertoire de fichiers KMZ :



D.2.3 Les données ATLAS

- . Fichier de mise en page WOR sous MAPINFO
- . 1 planche pdf



BIBLIOGRAPHIE :

AESN, 2006 – Cartographie des zones à dominante humide du bassin Seine-Normandie, Agence de l'Eau Seine-Normandie, 47 p.

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.

ZRIBI M., BAGHDADI N., LOUMAGNE C. et al - Analysis of Local Variation of Soil Surface Parameters With TerraSAR-X Radar Data Over Bare Agricultural Fields, Paris Anguela - *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **48**, 2 (2010) 874-881

Chambre d'Agriculture, 2007 – Notice explicative de la carte des sols de Nangis : Echelle 1/50 000, 208 p.

Chambre d'Agriculture, 2008 – Notice explicative de la carte des sols de Melun : Echelle 1/50 000, 159 p.

Chambre d'Agriculture, 2007 – Notice explicative de la carte des sols de Brie-Comte-Robert : Echelle 1/50 000, 181 p.

ECOPHERE, 2005 – Cartographie et inventaire des forêts alluviales de la vallée de la Seine au 1 :25 000, 73 p.

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

LEBLOND A., SANDOZ A., LEFEBVRE G., ZELLER H. and BICOUT D, 2007 - Remote sensing based identification of environmental risk factor associated with West Nile disease in horses in 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.

ROQUE J. – INRA, 2003 – Référentiel régional pédologique de l'île de France à 1/250 000, 244 p.

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

SANDOZ, A., THAUVIN, N., 2006 - Wetland habitats and flooding duration satellite monitoring. In: FERNANDEZ-PRIETO, D., ARINO, O., BORGES, T., DAVIDSON, N., FINLAYSON, M., GRASSL, H., MACKAY, H., PRIGENT, C., PRITCHARD, D., ZALIDIS, G. (Eds.), *The GlobWetland Symposium: Summary and Way Forward. Proceedings of GlobWetland Symposium, Looking at Wetlands from Space*, October 2006. European Space Agency, Frascati, Italy.

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