



Agence de l'eau Seine Normandie

&

Syndicat mixte des marais de Sacy

PLAN DE SUIVI ET DE GESTION DES EAUX DES MARAIS DE SACY-LE-GRAND (60)



Auteur :

Nicolas GALLOIS

Elève ingénieur à l'Ecole Nationale Supérieure de Géologie (Vandoeuvre-les-Nancy)

Option « Ressource, Gestion et Aménagements des Eaux »

Institut Polytechnique de Lorraine

Stagiaire à l'agence de l'eau Seine-Normandie pour l'été 2011

PLAN**CHAPITRE 1 : CONTEXTUALISATION DE L'OBJET D'ETUDE ET APPROCHE THEORIQUE DU PROBLEME DE GESTION**

1. PRESENTATION DU CONTEXTE DE L'OBJET D'ETUDE –	
INFORMATIONS GENERALES	8
1.1. Carte d'identité du site	8
1.2. Description sommaire du site	8
1.2.1. Milieux et habitats naturels	8
1.2.2. Aspect administratif et foncier	8
1.2.3. Contexte géologique et hydrogéologique	9
1.2.3.1. Géologie locale des marais de Sacy	9
1.2.3.2. Alimentation hydrique locale	11
1.3. Position du problème hydrogéologique	12
1.4. Schématisation du problème de gestion	13
1.5. Etude bibliographique des investigations menées sur les marais	15
2. FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE DES PUIITS ARTESIENS ET DE LA	
GESTION PAR BATARDEAUX – APPROCHE MATHEMATIQUE	17
2.1. Nappe libre et nappe captive	17
2.2. Fonctionnement hydraulique d'une nappe captive artésienne	17
2.2.1. Cas général	17
2.2.2. Effet de l'absence de tubage	18
2.2.3. Conséquence du tubage d'un puits artésien	19
2.3. Approche mathématique du fonctionnement d'un puits	19
2.3.1. Formulation schématique du problème et formule de débit	19
2.3.2. Vérification de l'homogénéité de la formule	21
2.3.3. Interprétation physique	21
2.3.4. Gestion par batardeau du puits	22
3. HIERARCHISATION DES TERRAINS SELON DES ENJEUX	
HYDRAULIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX	22

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

5.6.	Suivi piézométrique des eaux profondes.....	63
5.6.1.	Etat actuel du suivi piézométrique des eaux profondes des marais.....	63
5.6.2.	Inventaire actuel des données à disposition.....	64
5.6.3.	Le manque de données relatives à la géologie.....	64
5.6.4.	Les objectifs du suivi piézométrique.....	66
5.6.5.	Propositions d'implantations des piézomètres.....	66
5.6.5.1.	1 ^{ère} méthode : Etude des données et implantation des instruments de mesures.....	66
5.6.5.2.	2 ^{ème} méthode : Amélioration de la connaissance géologique du site et implantation des instruments de mesures.....	71
5.6.5.3.	Relevés des mesures.....	75
5.6.5.4.	Exploitation des données.....	75
6.	SYNTHESE SUR LE SUIVI DES EAUX DES MARAIS DE SACY – VALORISATION DES VALEURS	76
6.1.	Chiffrage opérationnel du plan de gestion.....	76
6.2.	Schéma bilan sur le suivi global des marais et les actions chronologiques à entreprendre, les données à acquérir et leur exploitation.....	76
6.3.	Tableaux synthétiques sur chaque point d'action.....	79
6.3.1.	Les données externes au marais.....	79
6.3.2.	Le suivi limnimétrique.....	79
6.3.3.	Le suivi des débits.....	79
6.3.4.	Les ouvrages hydrauliques.....	80
6.3.5.	Le suivi piézométrique.....	80
	Bibliographie	81
	Glossaire	83
	Annexes	85

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Division cadastrale des marais de Sacy-le-Grand.....	9
Figure 2 : Coupe géologique au niveau des marais de Sacy et son log stratigraphique.....	10
Figure 3 : Schéma structural de la région de Compiègne.....	10
Figure 4 : Schéma conceptuel des relations et des circulations d'eau entre les quatre nappes.	11
Figure 5 : Schématisation des différents casiers hydrauliques et de leurs relations à la Frette	12
Figure 6 : Vue schématique des différents paramètres influant sur le système marais/nappe.	13
Figure 7 : Schématisation primaire du contrôle et du suivi du système d'étude.....	14
Figure 8 : Première vue d'ensemble simplifiée d'élaboration du processus de suivi des eaux – Etat des lieux	16
Figure 9 : Illustration schématique d'une transition entre nappe libre et nappe captive	18
Figure 10 : Schéma du fonctionnement d'un puits artésien sans tubage	18
Figure 11 : Schéma du fonctionnement d'un puits artésien avec tubage.....	19
Figure 12 : Schématisation du cas réel	19
Figure 13 : Illustration du problème posé	20
Figure 14 : Influence de la gestion par batardeau sur l'écoulement d'un puits artésien	22
Figure 15 : Hiérarchie spatiale des enjeux relative aux milieux (habitats, espèces, etc.)	24
Figure 16 : Hiérarchisation et notations des terrains selon des critères hydrauliques et environnementaux	25
Figure 17 : Cartographie de la hiérarchie spatiale des enjeux (hydrauliques et environnementaux)	26
Figure 18 : Localisation des trois puits colmatés sous modélisation	30
Figure 19 : Comparaison des évolutions piézométriques de la nappe au niveau des marais avec et sans tubage des puits.....	31
Figure 20 : Photographie illustrant le tubage d'un puits artésien actif à E	31
Figure 21 : Cartographie S.I.G. des degrés d'activités des puits artésiens recensés au nord des marais	32
Figure 22 : Répartition des degrés d'activité des puits artésiens sur le nord des marais de Sacy	33
Figure 23 : Illustration du procédé de tubage.....	34
Figure 24 : Illustration du protocole de tubage (cas où le tube est arraché et où le sol n'est pas réutilisé).....	36
Figure 25 et 26: Illustration du protocole de bouchage (cas où le tube n'est pas retiré et où le sol est réutilisé) - Mode de cimentation du puits.....	36
Figure 27 : Photographie d'un puits artésien très actif (débit « +++ », propriété de Mr. J).....	37
Figure 28 : Tableau récapitulatif des caractéristiques de localisation et d'activité des puits sélectionnés	38
Figure 29 : Positions des puits gérés/vannés (en rouge) à E	39
Figure 30 : Positions des puits gérés/vannés (en rouge) sur la zone de "La cuiller à pot"	40

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

Figure 31 : Positions des puits gérés/vannés (en rouge) sur la zone "Les sources"	40
Figure 32 : Positions des puits gérés/vannés sur la zone D	41
Figure 33 : Schématisation sommaire de l'agencement des cours d'eau des marais de Sacy ...	42
Figure 34 : Protocole expérimental de mesure de débit	43
Figure 35 : Extrait de la carte piézométrique sur le bassin Oise-Aronde (2008, Source : Hydratec).....	44
Figure 36 : Carte piézométrique initiale support de la modélisation sous G.M.S.....	45
Figure 37 : Localisation du piézomètre par rapport aux stations modifiées	46
Figure 38 : Forme globale de la réponse du système suite à des phases de tubage	46
Figure 39 : Carte d'iso-temps de réponse pour la zone E.....	47
Figure 40 : Carte d'iso-temps de réponse pour la zone J.....	47
Figure 41 : Carte d'iso-temps de réponse pour les zones <i>D</i> (à gauche) et « <i>J – Les sources</i> » (à droite)	48
Figure 42 : Schématisation du traitement des données de débits pour déterminer T et S.....	50
Figure 43 : Données de mesure de débits (en m ³ /h) et piézométrique (piézomètre de Sacy-le-Grand) disponibles au 24 juillet 2011	51
Figure 44 : Positions prévisionnelles des points de mesure de débits.....	53
Figure 45 : Tableau de justification des points de mesures de débit	54
Figure 46 : Suivi limnimétrique prévisionnel des marais de Sacy (opérationnel en septembre 2011).....	58
Figure 47 : Position des ouvrages hydrauliques de contrôles en place et prévus.....	59
Figure 48 : Carte d'état de fonctionnement des ouvrages hydrauliques de contrôle	60
Figure 49 : Graphique de l'évolution des prélèvements en m ³ /an en fonction du temps (AEP, Irrigation et Total).....	61
Figure 50 : Carte des prélèvements AEP/Irrigation sur le bord des marais de Sacy	62
Figure 51 : Carte de sensibilité de la nappe de la craie aux prélèvements	63
Figure 52 : Caractéristiques du piézomètre de Sacy-le-Grand.....	63
Figure 53 : Carte montrant l'incertitude sur la limite nappe libre/captive réalisée via les données de forage	65
Figure 54 : Caractéristiques des trois piézomètres sélectionnés	67
Figure 55 : Enjeux phytoécologiques de la partie Ouest des marais (parcelle de Pz-003)	68
Figure 56 : Carte de localisation prévisionnelle de trois piézomètres sur le nord des marais..	70
Figure 57 : Schéma du quadripôle ABMN Schlumberger	71
Figure 58 : Type de résultats obtenu selon un transect après traitement des données	72
Figure 59 : Plages de résistivités des matériaux présents sous les marais	72
Figure 60 : Localisation des quatre transects	74
Figure 61 : Caractéristiques des quatre transects	75
Figure 62 : Chiffrage opérationnel du plan de suivi et de gestion des eaux des marais de Sacy-le-Grand.....	77
Figure 63 : Plan de suivi et de gestion des eaux des marais de Sacy-le-Grand : Bilan des actions à entreprendre.....	78

TABLE DES ANNEXES

Annexe 1 : Carte I.G.N. au 1/25000ème des marais de Sacy (carte d'Estrées-Saint-Denis)....	86
Annexe 2 : Carte géologique au 1/50000ème des marais de Sacy (carte de Compiègne)	87
Annexe 3 : Photographie satellite des marais de Sacy	88
Annexe 4 : Carte des données disponibles via les forages sur la présence des argiles du Sparnacien	89
Annexe 5 : Exemple de fiche remplie lors de la phase de recensement des puits artésiens....	90
Annexe 6 : Cartographie des puits artésiens sur le Nord des marais de Sacy	91
Annexe 7 : Cartographie des zones de sources sur les marais de Sacy	92
Annexe 8 : Réseau hydraulique des marais de Sacy	93
Annexe 9 : Hiérarchie des casiers en fonction de critères hydrauliques	94

CHAPITRE 1 :

CONTEXTUALISATION DE L'OBJET D'ETUDE ET APPROCHE THEORIQUE DU PROBLEME DE GESTION

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy**1. PRESENTATION DU CONTEXTE DEL'OBJET D'ETUDE – INFORMATIONS GENERALES****1.1. Carte d'identité du site****Département** : Oise (60)**Région naturelle** : Soissonnais**Communes à proximité** : Sacy-le-Grand, Cinqueux, Monceaux, Les Ageux, Saint Martin-Longueau**Éléments de localisation** : Situé au sein d'un triangle formé par les agglomérations de Clermont (13 km), Compiègne (27 km) et Creil (16 km). Localisé sur la partie sud de la commune de Sacy-le-Grand (cf. Annexe 1)**Carte I.G.N. au 1/25000^{ème}** : Carte d'Estrées-St-Denis, 2411 O, Série Bleue.**Carte géologique au 1/50000^{ème}** : Carte de Compiègne, XXIV -11.**1.2. Description sommaire du site***1.2.1. Milieux et habitats naturels*

Représentant une zone humide très importante, reconnue à l'échelle régionale, les marais de Sacy constituent un espace tourbeux d'une superficie de plus de 1000 ha à très fort intérêt :

- **Écologique** : Le site présente une grande diversité de milieux naturels (eaux courantes, prairies humides, marais à grandes herbacées, milieux tourbeux pionniers, espacés boisés...) fortement influencés par des facteurs de natures intrinsèques ou extérieurs (anthropiques).

- **Environnemental** : Les marais recensent des habitats floristiques et faunistiques remarquables. En effet, environ 20 espèces de plantes présentes sont classées « *en voie de disparition* » et de ce fait, protégées (Potamot coloré, Gentiane pneumonanthe, Inule à feuilles de saule, etc.) ainsi que diverses espèces animales. (Butor étoilé, Triton crêté)

Ces multiples intérêts ont justifié l'inventaire de ce site en Z.N.I.E.F.F. (Zone Naturelle d'Intérêt Faunistique et Floristique), en Z.I.C.O. (Zone Importante pour la Conservation des Oiseaux) mais aussi comme Z.S.C (Zone Spéciale de Conservation) dans le cadre de la direction habitats faune-flore (réseau *Natura 2000*).

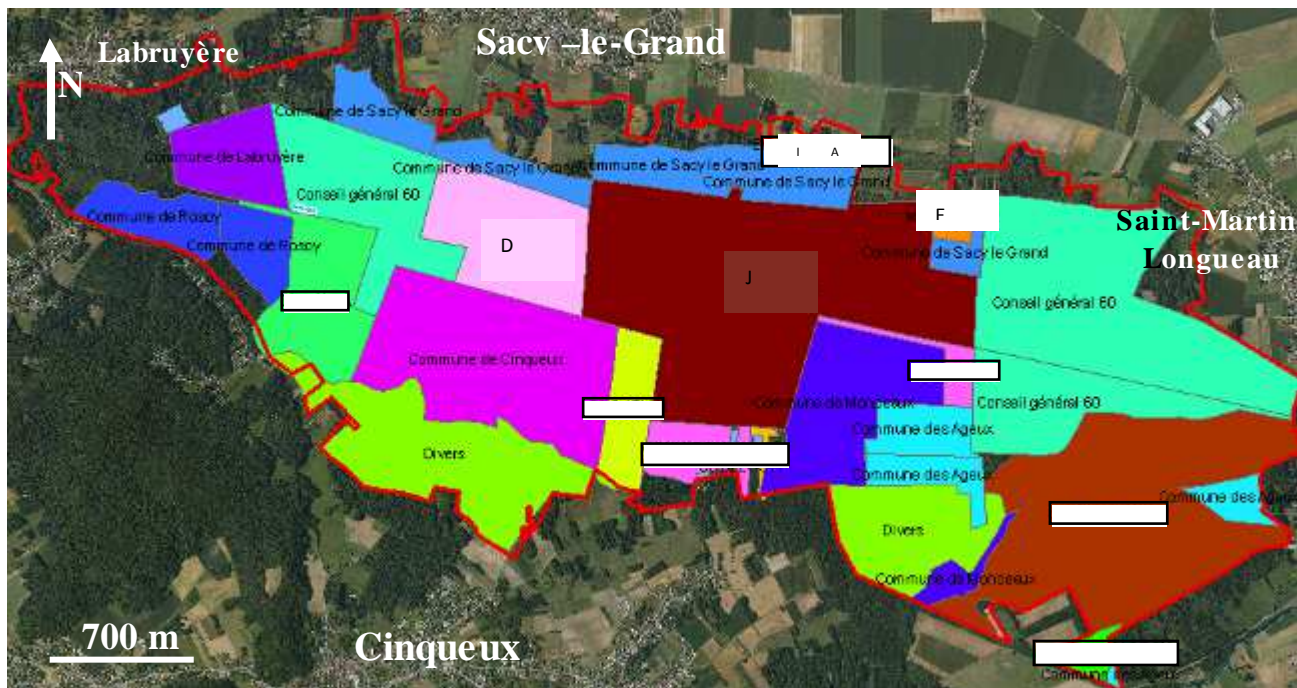
Support d'activités humaines très variées dont la chasse, la pêche, l'élevage, ce site à suscité l'intérêt des pouvoirs publics et fut l'objet de plusieurs investigations récentes réalisées par des bureaux d'études privés afin de suivre son évolution et les risques qu'il encoure. Elles ont notamment mis en évidence la grande valeur écologique des marais, ce qui a contribué à la création, en octobre 2010, d'un poste d'ingénieur technicien en charge de la gestion des marais au syndicat mixte des marais de Sacy.

1.2.2. Aspect administratif et foncier

Les marais sont majoritairement privés à l'exception des terrains appartenant au C (environ 1/3 de la surface totale) et des parcelles communales. Ces premiers sont le support d'une politique de gestion adaptée aux espaces naturels sensibles. Les marais se divisent donc en :

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

- Des propriétés communales d'environ 50 ha par commune louées à des particuliers.
- Des grandes propriétés privées appartenant à des particuliers (cinq propriétaires se partagent 90 % de la surface non communale du marais).
- Des petites propriétés privées situées en périphérie des marais (7% de la superficie totale).



— Limite des marais

Figure 1 : Division cadastrale des marais de Sacy-le-Grand

1.2.3. Contexte géologique et hydrogéologique

1.2.3.1. Géologie locale des marais de Sacy

La plaine Picarde possède un relief très doux et peu d'accidents tectoniques majeurs y sont recensés même si la région est marquée par des plis anticlinaux et synclinaux d'orientation Nord-Ouest/Sud-Est tels que le *dôme de Légantiers* ou la *dépression d'Estrées-Saint-Denis* (cf. Fig. 3). Les marais de Sacy appartiennent au bassin versant Oise-Aronde inclus dans la grande unité du bassin sédimentaire de Paris dont le sous-sol est principalement constitué des couches suivantes (que l'on retrouve à l'aplomb des marais) :

- La plus répandue est la **craie du Crétacé**, blanche, tendre, exempte d'argile et de sable (Craie à Belemnites et à *Micraster coranguinum* du Campanien et du Santonien), d'une puissance d'environ 150 à 200 mètres. Elle présente également de rares bancs durcis, noduleux, dolomitiques contenant de l'oxyde de manganèse et des granules phosphatés. Cette couche constitue le corps aquifère de la nappe de la craie Picarde.
- Cette craie repose sur les **Argiles du Gault de l'Albien** (base de la nappe de la craie). Il s'agit d'argiles noires glauconieuses avec intercalations éparses de lentilles sableuses et de rognons de silex.
- La craie est recouverte par des sables marins quartzeux fins, glauconieux ou **sables de Bracheux** du Thanétien qui sont également perméables et contiennent de l'eau.

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

- Les sables sont recouverts par des argiles grises à gris bleuâtre dans lesquelles s'intercalent des lits gréseux et des niveaux ligniteux autrefois exploités pour le sulfate de fer, puis pour l'engrais : ce sont les **Argiles (smectites) du Soissonais** (Sparnacien). Les niveaux marneux renferment des Characées et des fossiles limniques. Sur le flanc des buttes tertiaires ou en sondages, l'épaisseur de la formation varie entre 10 et 30 mètres.
- Enfin, d'autres terrains tertiaires (**Sables marins aquifères** du Cuisien) affleurent uniquement par le biais de buttes marquant le paysage (cf. Fig. 2).

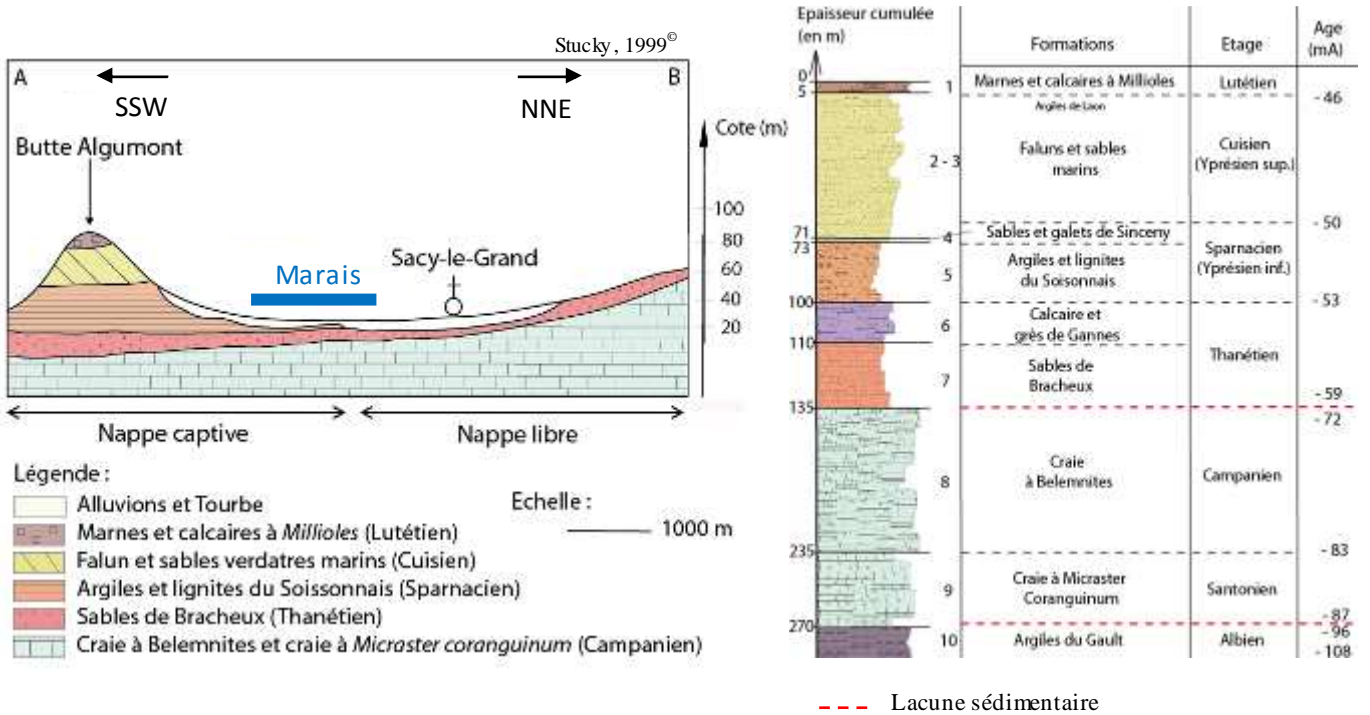


Figure 2 : Coupe géologique au niveau des marais de Sacy et son log stratigraphique

N.B. : Le trait de coupe est mentionné sur la carte géologique du secteur, fournie en annexe 2.

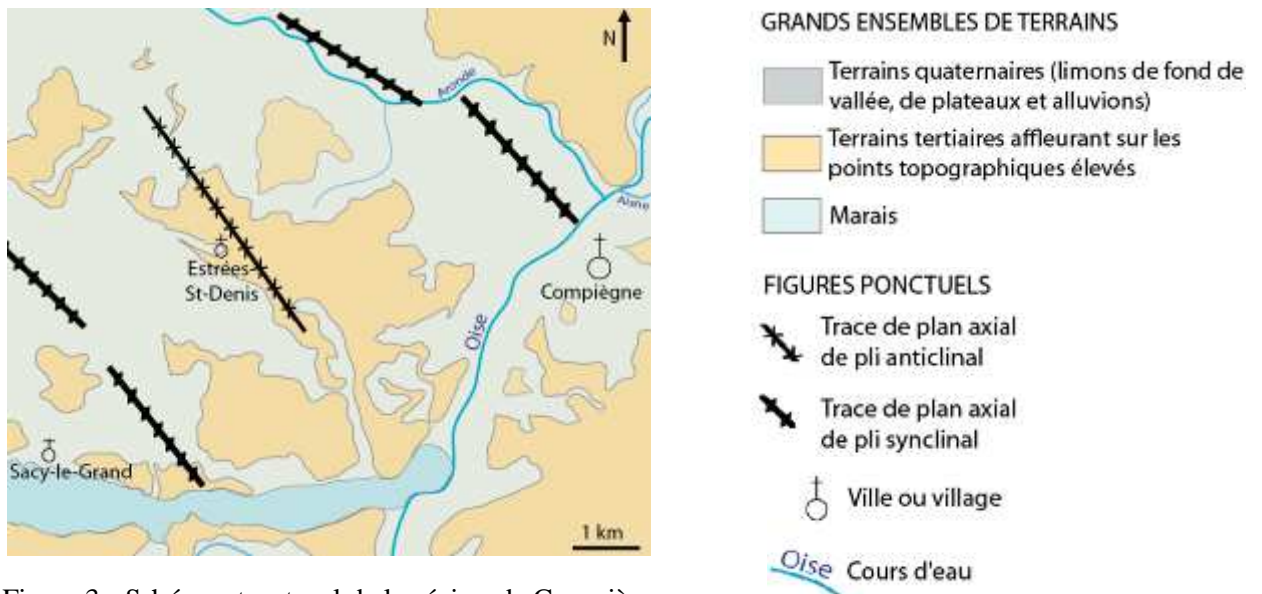


Figure 3 : Schéma structural de la région de Compiègne

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

1.2.3.2. Alimentation hydrique locale

Cette zone d'étude possède un réseau hydrogéologique assez complexe composé de plusieurs nappes. Les marais de Sacy se situent à la jonction entre deux zones d'alimentations distinctes par les eaux souterraines :

- Via un contact direct avec les sables de Bracheux et la tourbe, la partie Nord des marais est principalement alimentée par la nappe de la craie Picarde, très productive dans sa partie supérieure fracturée. Elle constitue la ressource la plus importante et la plus exploitée de la région.
- La partie Sud est alimentée par les nappes multicouches du tertiaire qui, elles, sont faiblement productives et isolées de la nappe de la Craie par un écran argileux (Sparnacien) qui débute dans la partie nord des marais (cf. Fig. 2). Ces nappes peuvent entretenir des relations entre elles comme l'illustre la figure 4.

D'une manière générale, le fonctionnement hydrologique global des marais possède une double composante :

- Une composante régionale car leur alimentation en eau provient pour une part importante du débordement des eaux souterraines de la nappe de la craie et dans une plus faible mesure, du ruissellement d'une partie des précipitations tombant sur le bassin versant (impluvium direct).
- Une dimension locale liée au réseau hydraulique des marais (géométrie des mares et canaux, caractéristiques du système de drainage) (cf. Annexe 8), à l'alimentation par de nombreux puits artésiens sur la partie Nord, mais aussi aux pertes dues à l'évaporation directe des plans d'eau et à l'évapotranspiration des végétaux voire aussi à la proximité d'un champ captant (Labryère – Champ captant du *Liancourtois*).

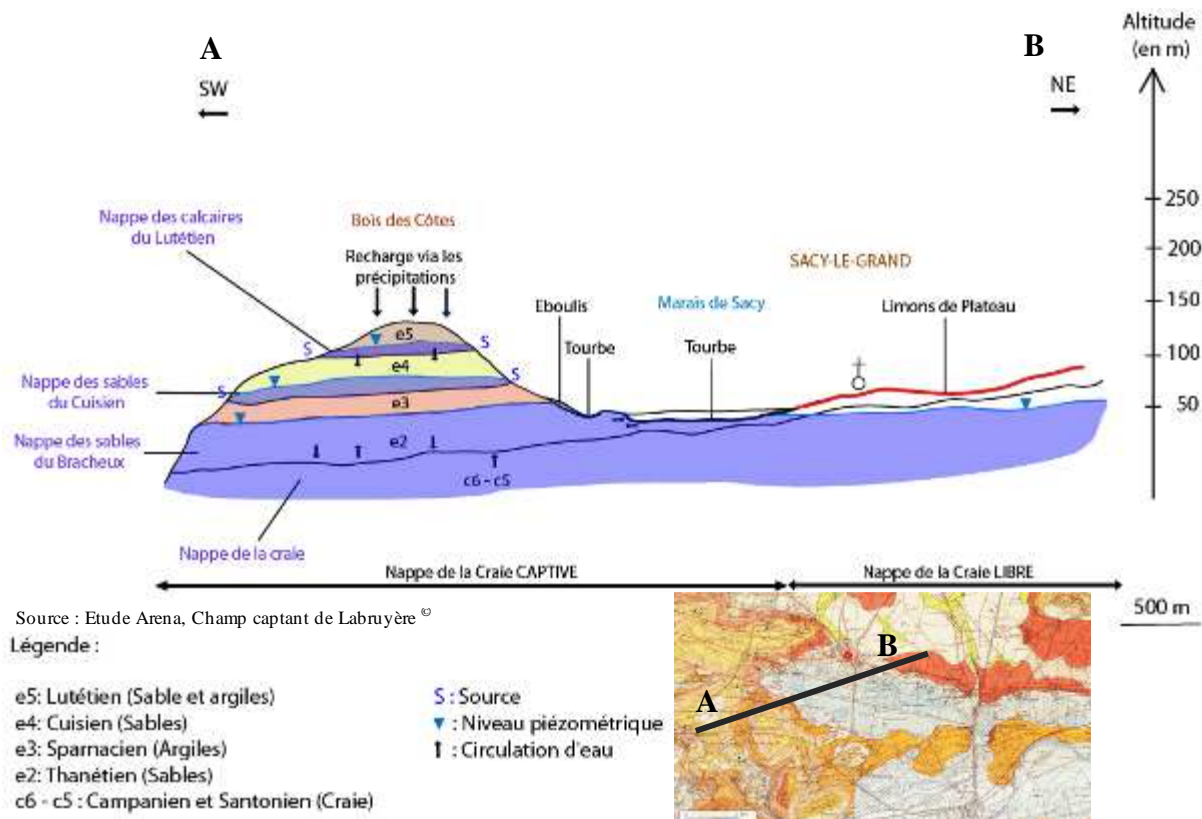


Figure 4 : Schéma conceptuel des relations et des circulations d'eau entre les quatre nappes

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

Comme précité, une des grandes particularités, illustrée en figures 2 et 4, de la nappe de la Craie est qu'il s'opère un changement de nature au niveau des marais (nappe libre au Nord et captive au sud du fait que la craie « plonge » littéralement sous les terrains argileux) rendant particulièrement difficile la compréhension du fonctionnement hydrologique et hydrogéologique des marais.

1.3. Position du problème hydrogéologique

Des observations de terrain et des études récentes ont mis en évidence plusieurs points critiques sur les eaux dont :

- En surface, des assèchements réguliers ou des taux de remplissage insuffisants de certains plans d'eau, des baisses de niveaux d'eau de plus en plus tôt dans l'année calendaire (avec actuellement environ deux mois d'avance), l'accélération du développement de la végétation ligneuse.
- En profondeur, des niveaux piézométriques de la nappe de la Craie de plus en plus faibles en partie provoqués par une vidange continue de celle-ci par la présence de puits artésiens encore actifs (à des degrés d'activités variables) utilisés, il y a 50 ans encore dans le cadre de cressonnières ainsi que par des prélèvements importants pour l'agriculture et l'irrigation (champ captant de Labruyère, à l'Ouest des marais notamment).

Le fonctionnement des puits est rendu possible par une mise sous pression de l'eau de la nappe dans sa zone captive. La position des plus actifs ainsi que l'architecture du réseau hydrographique sont tels qu'ils contribuent à une évacuation continue de l'eau des différents casiers hydrauliques vers le canal de la Frette, drain principal des marais, acheminant l'eau vers l'Oise.

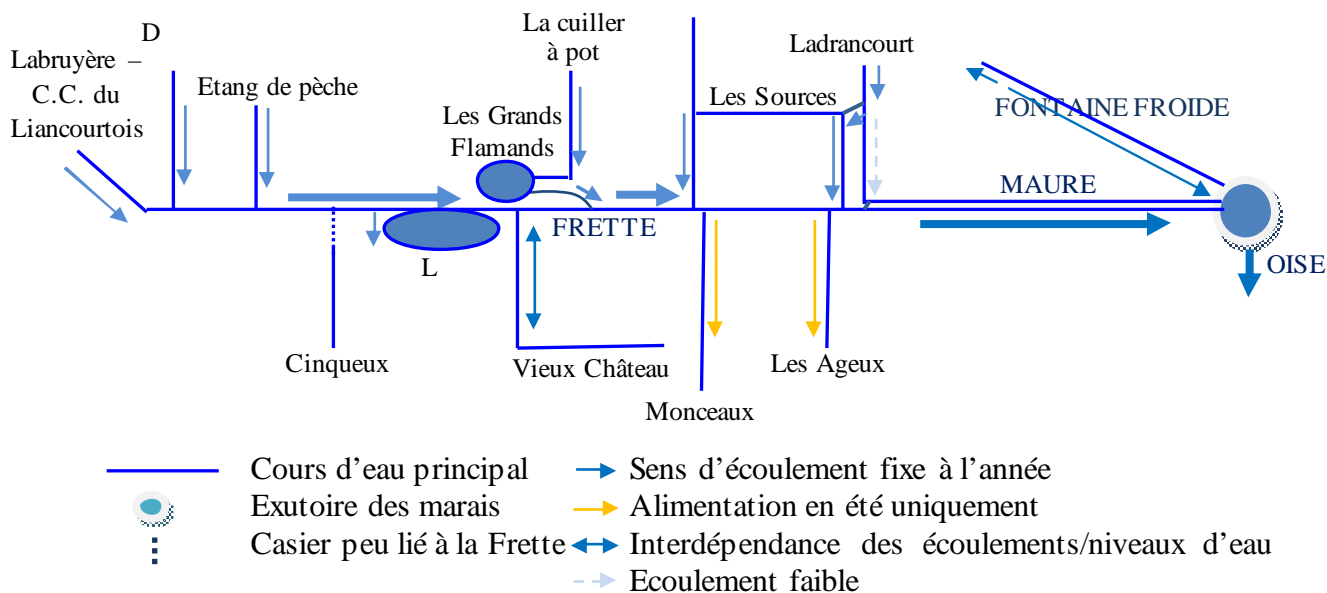


Figure 5 : Schématisation des différents casiers hydrauliques et de leurs relations à la Frette

NB : Le casier de Rosoy n'est pas mentionné ci-dessus car il n'entretient aucune connexion hydraulique avec la Frette.

Mentionnons enfin le fait que la majeure partie du réseau hydraulique est artificielle. Il est constitué de nombreux fossés et cours d'eau qui ont été creusés par l'homme.

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

1.4. Schématisation du problème de gestion

La connaissance du fonctionnement hydraulique, hydrologique et hydrogéologique des relations entre une zone humide et une nappe sous-jacente est, d'une manière générale très complexe. Dans le cas présent, celle-ci est très peu maîtrisée, de même que la disposition, l'activité et le nombre de puits artésiens présents ne permettant pas de trouver une solution aux problèmes de tension quantitative des eaux.

Le fonctionnement est mal connu notamment par l'absence de suivi continu des niveaux d'eau qui permettrait à la fois de mettre en évidence sur le long terme, les grands principes de relations entre les deux unités hydrauliques (marais et nappe) ainsi que de mettre en place une gestion active des eaux des marais entre les différents acteurs (syndicat, propriétaires et locataires) en prenant en compte des aspects environnementaux (impact sur le milieu/respect des habitats).

Proposons la représentation schématique ci-après du système d'étude où Z.H. représente la zone humide des marais :

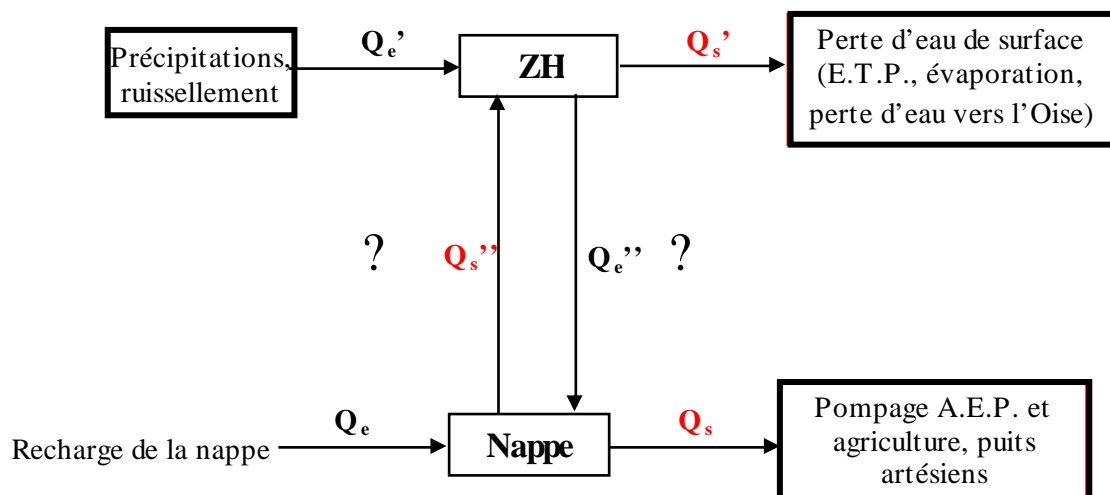


Figure 6 : Vue schématique des différents paramètres influant sur le système marais/nappe

La figure 6 présente les différents paramètres du système où ceux encadrés en gras peuvent être suivis et où les débits matérialisés en rouge peuvent être modulés par mise en œuvre des actions de gestions présentées ci-après.

La connaissance du fonctionnement d'un tel système n'est possible que si l'intégralité des paramètres qui le contrôle est connue et que leurs évolutions respectives dans le temps est maîtrisée.

Le cas échéant, sur n paramètres, si l'un d'entre eux est difficilement appréhendable (ici les échanges réciproques entre nappe et zone humide), la maîtrise des $n-1$ autres variables du système permet de mettre en évidence des indices de variation sur la variable manquante.

Dans le cas étudié ici, ces « $n-1$ » paramètres peuvent être plus ou moins facilement mesurés. Ils peuvent être déterminés grâce aux données mentionnées en bleu sur la figure 7.

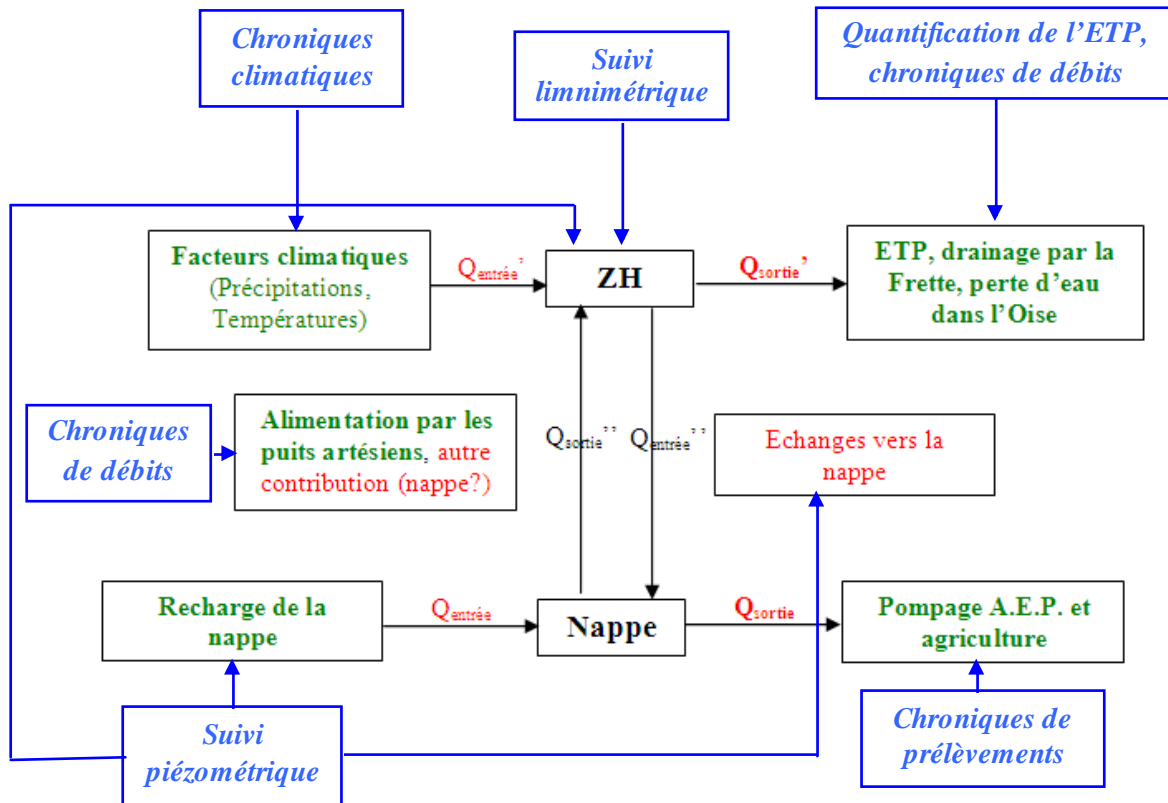
Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

Figure 7 : Schématisation primaire du contrôle et du suivi du système d'étude

Les éléments en vert sont ceux qui peuvent faire l'objet d'un suivi continu assez facile et ce, de manière mécanique (relevés journaliers, automatiques, etc.). On observe donc que la seule inconnue du système reste les échanges vers et provenant de la nappe qui pourront à posteriori être évalués via le suivi des autres paramètres.

Cependant, notons que ces échanges peuvent être quantifiés directement. Par exemple, l'implantation de grands réservoirs en contact direct avec le sol permet de mesurer la quantité d'eau transférée en un point donné pendant un certain temps. Mais notons que ces techniques sont assez difficiles et contraignantes (cf. FUSTEC E., LEFEUVRE J-C., *Fonctions et valeurs des zones humides*, page 79, Dunod, Paris, 2000, 427p).

En résumé, les objectifs majeurs du plan de suivi, sont les suivants :

- Mise en place d'un suivi continu de surface et en profondeur des différentes variables à long terme pour donner des pistes quant à l'évolution et au fonctionnement dynamique du système.
- Augmentation du volume d'eau conservé au sein des marais, sous conditions des quantités maximum supportables par les habitats naturels environnants.
- Réduction du taux de vidange de la nappe par actions sur les puits artésiens.

On propose d'illustrer l'approche initiale du problème de gestion, avec un constat des données manquantes à obtenir par le biais du schéma suivant (la version détaillée est proposée en figure 63) :

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

1.5. Etude bibliographique des investigations déjà menées sur les marais

Depuis la fin des années 1990, quelques études ont été menées sur les marais de Sacy ou en lien avec les marais, dont trois principales :

Stucky (1999, 2000 & 2008): Elle propose un modèle à l'échelle régionale prenant en compte les marais, lequel s'appuie sur des données pluviométriques et d'E.T.P. Il a pour objectif la modélisation des flux d'eau entrant dans les marais par l'intermédiaire des sources de débordement et du ruissellement uniquement. L'étude pose les bases hydrauliques de l'alimentation des marais mettant en évidence les deux sources principales d'eau (nappe de la craie au nord et nappes tertiaires au sud, cf. § 1.2.3.2.). Elle apporte également quelques indications sur la chimie globale des eaux (concentration élevée en nitrates au nord, en sulfates au sud). Enfin, elle propose l'analyse des précipitations et des relevés limnimétriques pour comprendre les relations entre les différents casiers hydrauliques des marais.

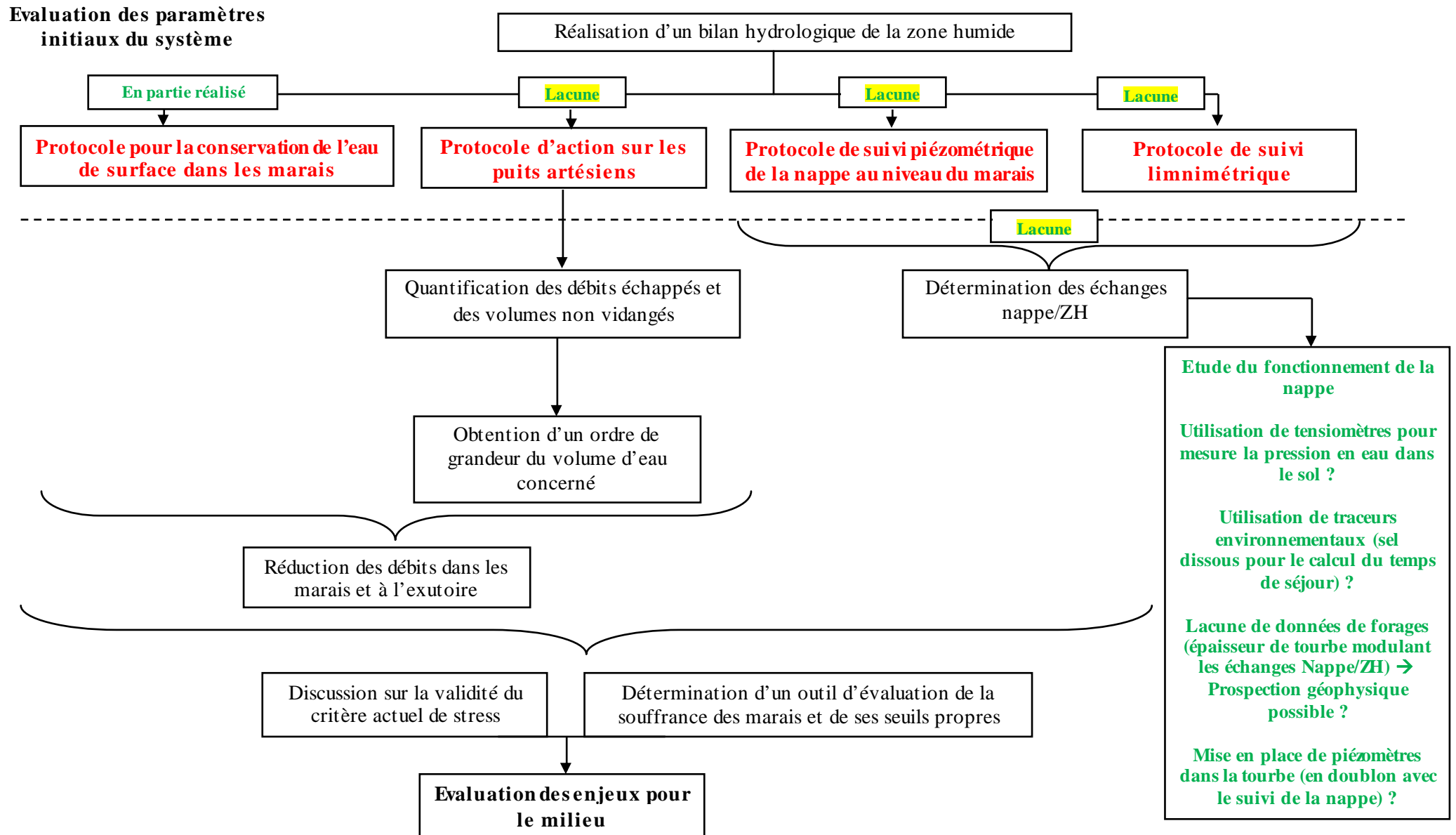
Elle propose enfin la réalisation d'une carte du réseau hydraulique. Cependant, en dix ans, certaines connexions du réseau ont été modifiées : certaines ont été créées, notamment entre la zone principale d'artésianisme (E) et la Frette, accélérant ainsi la perte d'eau depuis la nappe.

Hydratec (2008): Il s'agit d'une modélisation couplée entre les eaux souterraines de la nappe de la Craie et les eaux de surface. Cette étude a été réalisée à l'échelle du bassin versant entier Oise-Aronde (716 km²). Il s'agit de la première évaluation théorique où les puits artésiens ont été pris en compte (cf. § 4.2.). Cependant, le modèle établi n'est pas conçu à une échelle permettant une analyse fine du fonctionnement des puits artésiens. Au moment où la modélisation a été réalisée, la connaissance des puits était alors restreinte en termes de débits, nombre et localisations géographiques. De récentes simulations ont néanmoins pu fournir des indices sur l'impact des puits artésiens des marais sur la recharge de la nappe de la craie. Trois puits fictifs représentant les 3 sites majeurs d'implantation des puits artésiens ont été modélisés : une simulation correspondant au bouchage de ces puits avec un débit supposé de 20 L/s a été menée : un impact piézométrique positif est obtenu au piézomètre de Sacy-Le-Grand (cf. Fig. 19).

Eau & Industrie (2010): Cette étude a montré l'absence d'influence des stations de pompages sur les évolutions de surface des tirants d'eau. A une échelle plus globale que celle proposée par l'étude, on pourrait s'interroger sur la probabilité que le champ captant, par l'étendue de son cône de rabattement, induise une baisse du niveau de la nappe; et donc une baisse des débits des puits proches (zone de Mr. D notamment, où les puits artésiens présentent des débits de plus en plus faibles avec le temps). Les puits artésiens étant une source majeure d'alimentation de la partie Nord des marais, une attention particulière doit être portée du fait des baisses des niveaux justement observées sur cette zone. Enfin, aucune étude n'a été réalisée jusqu'à présent pour définir l'état initial de la zone des marais (l'étude ne prévoit que des déplacements dans la position des puits de pompage et non pas un arrêt complet de celui-ci). La question de l'impact des prélèvements gagnerait peut être à être approfondie à l'avenir, à l'échelle globale des marais.

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

Figure 8 : Première vue d'ensemble simplifiée d'élaboration du processus de suivi des eaux – Etat des lieux



Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

2. FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE DES PUITES ARTESIENS ET DE LA GESTION PAR BATARDEAUX – APPROCHE MATHEMATIQUE

L'objectif de ce paragraphe est de reposer les bases du fonctionnement des grands objets d'études (nappe libre et nappe captive artésienne). Il est proposé ici de justifier mathématiquement les actions de gestion des eaux des marais par tubages des puits artésiens et poses de batardeaux proposées ci-après.

Rappelons tout d'abord la définition d'une nappe établie comme étant l'ensemble des eaux comprises dans la zone saturée d'un aquifère, dont toutes les parties sont en liaison hydraulique. (*G. de Marsily, 2004*).

La nappe se restreint uniquement à la partie saturée de l'aquifère. Le corps rocheux constituant la nappe contient l'eau au sein de sa porosité ou de ses fractures. Il repose sur un autre corps sous-jacent imperméable (argiles) : le « *mur* » de la nappe. La formation sommitale est le « *toit* ».

2.1. Nappe libre et nappe captive

Dans le cas d'une nappe dite « libre », la limite entre la zone saturée et non saturée est appelée surface libre de la nappe. Elle est parfois qualifiée de « réelle » car le niveau piézométrique et la surface libre coïncident.

La nappe captive se définit, elle, par opposition à la « nappe libre ». Elle est dite captive si elle remplit les deux conditions suivantes:

- Le corps aquifère est encadré par deux formations peu ou pas perméables (argiles).
- La charge hydraulique de l'eau qu'elle contient est supérieure à la cote du toit de la nappe.

L'eau y étant donc sous pression, le niveau d'eau coïncide avec la base du toit de la nappe. La surface libre y est donc « hypothétique » et correspond au niveau piézométrique qu'aurait la nappe captive si celle-ci avait été libre. Une nappe captive présente aussi localement une surface libre, par où l'eau peut s'infiltrer. Cette zone d'alimentation est la surface de recharge.

N.B. : Le schéma de la figure 9 n'est pas réalisé à l'échelle et tient uniquement compte de la géologie locale.

2.2. Fonctionnement hydraulique d'une nappe captive artésienne

Hypothèse : Dans tout ce qui suit, on considèrera les puits comme étanches et sans fuites.

2.2.1. Cas général

Dans le cas d'une nappe captive, l'eau y est contenue, confinée à une pression p supérieure à la pression atmosphérique p_0 . Lorsque l'on parvient à percer le toit de l'aquifère depuis la surface, si la pression p est suffisante pour que l'eau remonte jusqu'à la surface, la nappe est dite « artésienne » et l'ouvrage est dit « artésien ».

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

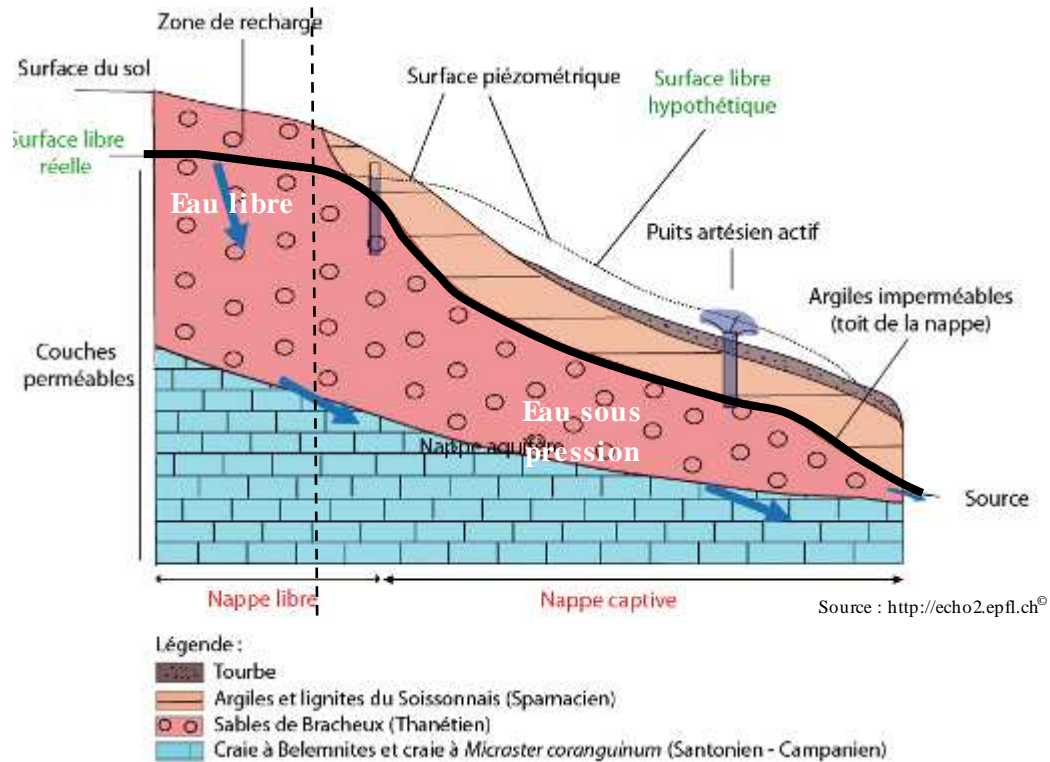


Figure 9 : Illustration schématique d'une transition entre nappe libre et nappe captive

2.2.2. Effet de l'absence de tubage

La condition essentielle pour qu'il y ait artésianisme est que la surface libre hypothétique doit être à une côte supérieure à celle de la surface du sol. C'est précisément le phénomène qui se produit en absence de tubage.

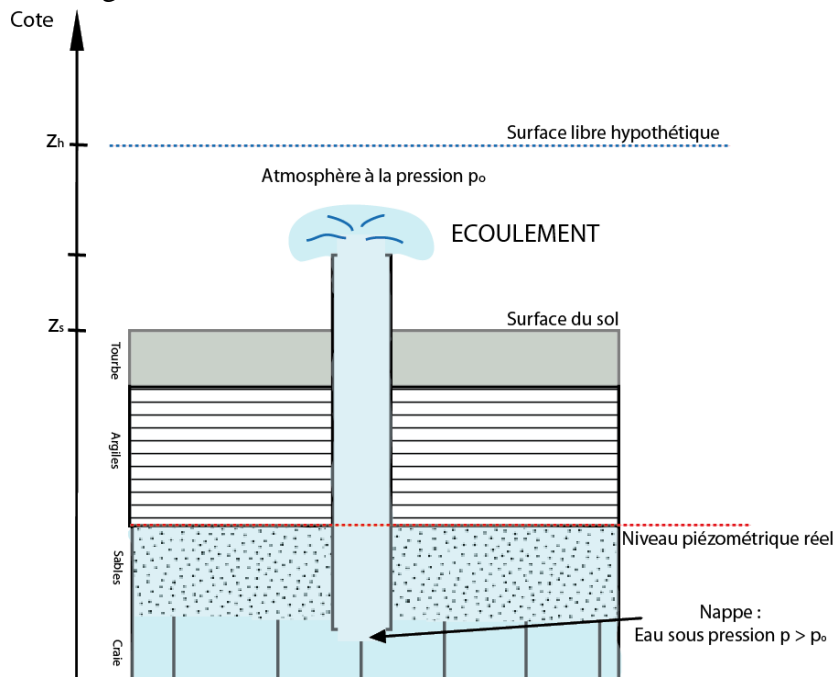


Figure 10 : Schéma du fonctionnement d'un puits artésien sans tubage

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

Lorsque l'eau remonte vers la surface et que le niveau hypothétique de la nappe est supérieur à la partie sommitale du tube du puits, l'eau s'écoule donnant lieu à des puits artésiens actifs.

2.2.3. Conséquence du tubage d'un puits artésien

La méthode du tubage est simple. Son objectif est de ramener la cote de la surface « hypothétique » égale avec celle du niveau piézométrique « réel » dans quel cas, le système se stabilise et l'écoulement s'arrête.

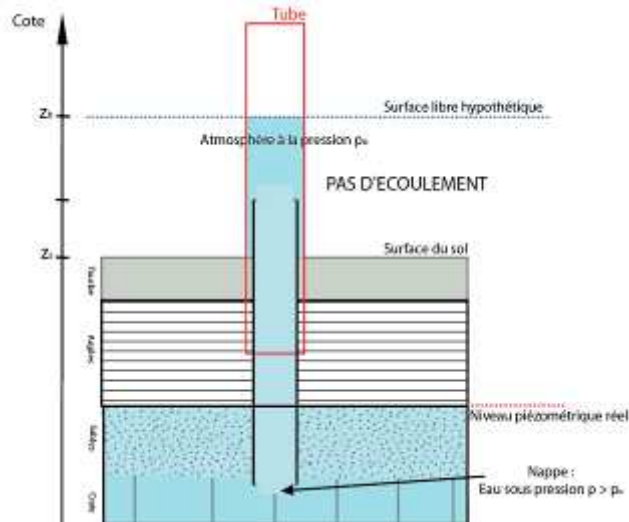


Figure 11 : Schéma du fonctionnement d'un puits artésien avec tubage

2.3. Approche mathématique du fonctionnement d'un puits :

2.3.1. Formulation schématique du problème et formule du débit

On propose dans ce qui suit d'expliquer via une approche mathématique le fonctionnement d'un puits artésien ainsi que de justifier le rôle du tube. Nous avons choisi de modéliser le problème avec ses notations de la façon suivante :

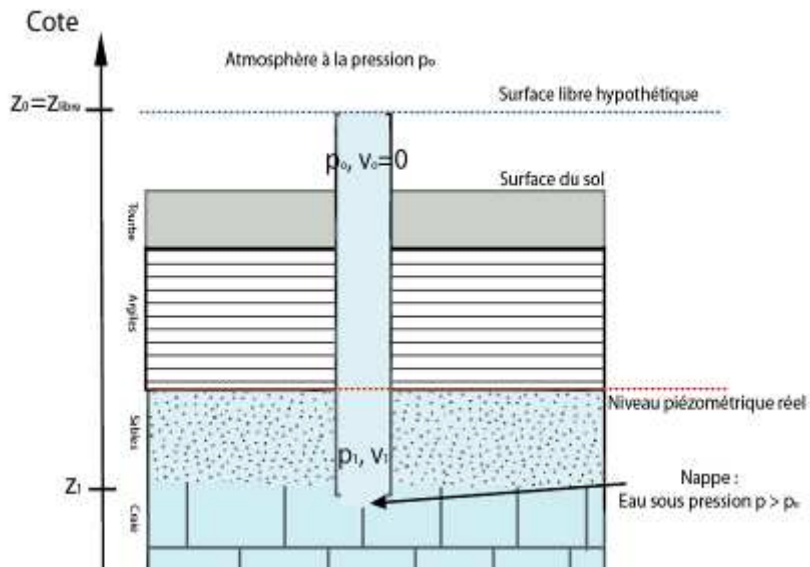


Figure 12 : Schématisation du cas réel

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

Comme montré en figure 12, on modélise le puits par une conduite de section constante S , de longueur L , de diamètre D . Les deux extrémités basse et haute du tube sont respectivement aux cotes z_1 et z_0 . L'écoulement de l'eau se fait vers le haut, laquelle est mise en mouvement à la pression p_1 (pression de l'eau dans la nappe captive) avec une vitesse v_1 à la base du tube. La pression environnante à l'extrémité haute du tube est la pression atmosphérique p_0 .

Hypothèses de calculs:

Dans un souci de compréhension du fonctionnement, utilisons quelques hypothèses pour simplifier les calculs. Posons $z_0 = z_{\text{libre}}$ ou z_{libre} est la cote correspondant à la cote de la surface libre hypothétique. Le fluide étant de l'eau, on le supposera comme étant parfait et incompressible.

En sortie du tube, on considère la vitesse comme étant nulle. On négligera, par absence de données sur la vitesse de l'eau (différente pour chaque puits), le phénomène de pertes de charges (même si pour une bonne conceptualisation du problème et étant donné la vétusté des ouvrages et les différents régimes hydrauliques observés pour la majorité des puits actifs (majoritairement turbulent, nombre de Reynolds $Re > 3000$), il est fortement probable que le coefficient de pertes de charges soit non négligeable.

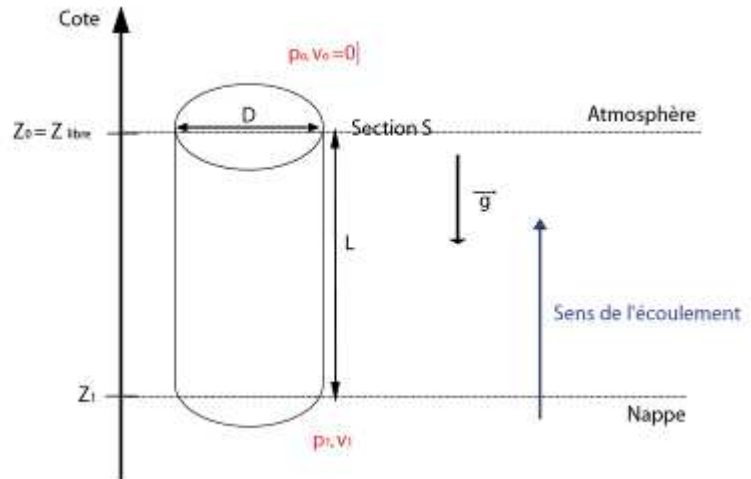


Figure 13 : Illustration du problème posé

Dans la suite, on note :

- g , l'accélération de la pesanteur égale à $9,81 \text{ m/s}^2$.
- φ , la masse volumique (constante) de l'eau de 10^3 kg/m^3 .

Compte-tenu des hypothèses, on utilise le théorème de Bernoulli qui donne :

$$\frac{1}{2\varphi} v_1^2 + z_1 + \frac{p_1}{\varphi g} = \frac{1}{2\varphi} v_0^2 + z_0 + \frac{p_0}{\varphi g}$$

Si l'on considère que $v_0=0$, il vient :

$$\frac{1}{2\varphi} v_1^2 + z_1 + \frac{p_1}{\varphi g} = z_0 + \frac{p_0}{\varphi g}$$

Comme l'on a $L=z_0-z_1$, on obtient :

$$\frac{1}{2\varphi} v_1^2 = L \cdot \frac{p_0 - p_1}{\varphi g} \quad (1)$$

Introduisons la définition du débit dans (1), i.e. $Q=vS$, il vient :

$$\frac{1}{2\varphi} \left(\frac{Q}{S}\right)^2 = L \cdot \frac{p_0 - p_1}{\varphi g}$$

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

En isolant Q, l'équation se transforme en :

$$Q = \sqrt{2g} D^3 \left(L + \frac{P_0 - P_1}{\rho g} \right) \quad (2)$$

Si l'on exprime la section en fonction du diamètre et que l'on reporte dans l'expression (2), après simplification, il vient :

$$Q = \pi D^3 \sqrt{\frac{g}{8} \left(L + \frac{P_0 - P_1}{\rho g} \right)}$$

2.3.2. Vérification de l'homogénéité de la formule

On vérifie ci-dessous la cohérence et l'homogénéité de la formule établie :

Si l'on considère les unités suivantes :

$$[D] == \mathbf{m} \quad [g] == \mathbf{m.s^{-2}} \quad [L] == \mathbf{m}$$

$$[\rho] == \mathbf{kg.m^{-3}} \quad [P_0 - P_1] == \mathbf{Pa} == \mathbf{N.m^{-2}} == \mathbf{Kg.m.s^{-2}.m^{-2}} == \mathbf{Kg.s^{-2}.m^{-1}}$$

Une analyse dimensionnelle donne :

$$[Q] = [m^3] \sqrt{[m.s^{-2}] \left([m] + \frac{[kg.s^{-2}.m^{-1}]}{[kg.m^{-3}.m.s^{-2}]} \right)}$$

[m]

Par simplification des unités, on détermine bien que le débit Q s'exprime en m³.s⁻¹. La formule est cohérente.

2.3.3. Interprétation physique

Quelle est la condition pour avoir un débit nul au puits? Celle-ci peut se traduire par :

$$L + \frac{P_0 - P_1}{\rho g} = 0$$

Ce qui se reformule, compte tenu des notations adoptées :

$$z_{libre} - z_1 + \frac{P_0 - P_1}{\rho g} = 0 \quad \text{Soit :} \quad z_{libre} = \frac{P_1 - P_0}{\rho g} + z_1$$

...ce qui est précisément la définition de la charge hydraulique **h** exprimée pour une nappe peu profonde (pression atmosphérique non négligeable/vitesses lentes).

On peut donc reformuler (2) en termes de charge hydraulique : $Q = \pi D^3 \sqrt{\frac{g}{8} (h_0 - h_1)}$

L'écoulement est donc bien assuré par un différentiel de charge. On a, pour un débit nul :

$$h_1 = h_0 = \frac{P_0 - P_1}{\rho g} + z_{libre} - z_{libre}$$

La condition d'arrêt est donc $h_1 = z_{\text{libre}}$.

La condition pour que l'écoulement s'arrête est donc bien que la charge hydraulique h_1 soit égale à la cote de la surface libre hypothétique z_{libre} de la nappe, laquelle condition est permise par le processus de tubage qui permet de rendre égales ces deux cotes. Effectuons enfin la vérification suivante : Que se passe-t-il si la charge h est inférieure à z_{libre} ? (cas sans gestion des puits).

Si $h < z_{\text{libre}}$ le terme $z + \frac{v^2}{2g} - z_0 = 0$ (ou encore $h_0 > h_1$) or on a bien sur $g > 0$ et $\frac{v^2}{2g} > 0$ donc $Q > 0$, **il y a écoulement**. De même, on vérifie aisément que si $h > z_{\text{libre}}$ ($h_0 < h_1$), $Q < 0$, ce qui n'a pas de signification physique. **L'écoulement s'arrête**.

2.3.4. Gestion par batardeau du puits

La mise en place d'un batardeau en exutoire d'une mare ou d'un étang a pour objectif de rehausser le niveau d'eau et permet aussi à ce que cette eau reste au niveau du plan d'eau. Notons Z_1 la cote de la surface libre « réelle » de l'eau et Z_h , la cote de la surface libre « hypothétique » de la nappe. Ainsi, si l'on raisonne selon une verticale, le batardeau joue un rôle similaire sur un puits à celui qu'a un tube comme le montre le schéma suivant :

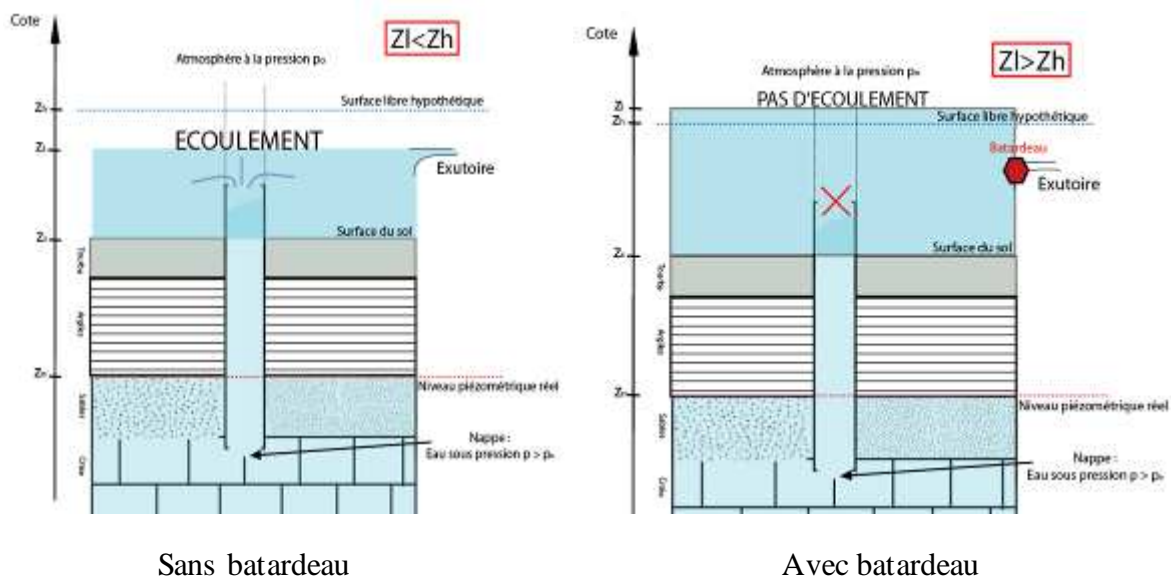


Figure 14 : Influence de la gestion par batardeau sur l'écoulement d'un puits artésien

Bien entendu, les principes physiques et mathématiques restent complètement identiques à ceux proposés précédemment.

3. HIERARCHISATION DES TERRAINS SELON DES ENJEUX HYDRAULIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX

Il est important de replacer la question de la gestion des eaux des marais dans un contexte plus large prenant en compte les enjeux liés aux milieux floristiques et faunistiques, et ce, de façon à définir des zones d'interventions prioritaires. Pour cela, on propose de s'appuyer sur les données de classification de parcelles proposées par le document d'objectifs des marais de Sacy. Dans l'attente de campagnes de recensement floristiques et faunistiques plus poussées, cet ouvrage est l'unique document que nous ayons à disposition, pouvant nous

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

donner à ce jour des indications sur la classification des milieux.

Rappelons également qu'il se fonde sur les critères et le système de notation suivants :

- La présence des habitats naturels ou espèces d'intérêt communautaires.
- La présence d'habitats naturels ou d'espèces prioritaires.
- L'état de conservation des sites.
- L'appartenance à la zone centrale des marais, la plus intéressante d'un point de vue écologique.

Chaque critère est évalué selon un barème qui lui est propre (Ex : l'état de conservation à le barème suivant : bon : 2, moyen : 1, faible : 0, la présence des habitats ou des espèces d'intérêt communautaire : habitat présent : 2, habitat potentiel : 1, habitat non présent : 0 etc.).

La somme des notes comptabilisées par chaque parcelle est ramenée sur une échelle à 5 niveaux (cf. Fig. 15) :

- **Enjeux majeurs** : Terrain répondant à l'ensemble des critères.
- **Enjeux forts** : Terrain répondant à presque tous les critères mais présentant un état de conservation ou un intérêt patrimonial inférieur à la classe ci-dessus.
- **Enjeux moyen** : Terrain abritant des habitats d'intérêt communautaire mais non situé dans la zone centrale.
- **Enjeux faibles** : Terrain sur lequel la présence d'habitats d'intérêt communautaire n'est que potentielle.
- **Enjeux très faibles** : Terrain ne répondant à aucun des critères : il constitue l'espace tampon du site.

On se propose donc de réaliser une nouvelle hiérarchisation des terrains prenant à la fois en compte :

- Des critères de classification hydrauliques.
- Les critères de classification des milieux précités issus du *Docob*.

En fonction des objectifs de gestion des eaux initialement définis (non vidange de la nappe, maximisation du volume d'eau conservé dans les marais...), on choisit les trois critères hydrauliques suivants :

- Concentration de puits artésiens – Degré d'artésianisme global.
- Sensibilité piézométrique de la nappe aux prélèvements (évalué d'après les résultats de modélisation *Hydratec* de la nappe de la Craie).
- Liaison/dépendance à la Frette et à son comportement (évalué d'après les études *Hydratec/Stucky* et les observations sur le hydraulique des marais).

On adopte également les notations suivantes pour chaque critère :

Degré de classification	Nul - 0	Faible - 1	Moyen - 2	Forte - 3
-------------------------	---------	------------	-----------	-----------

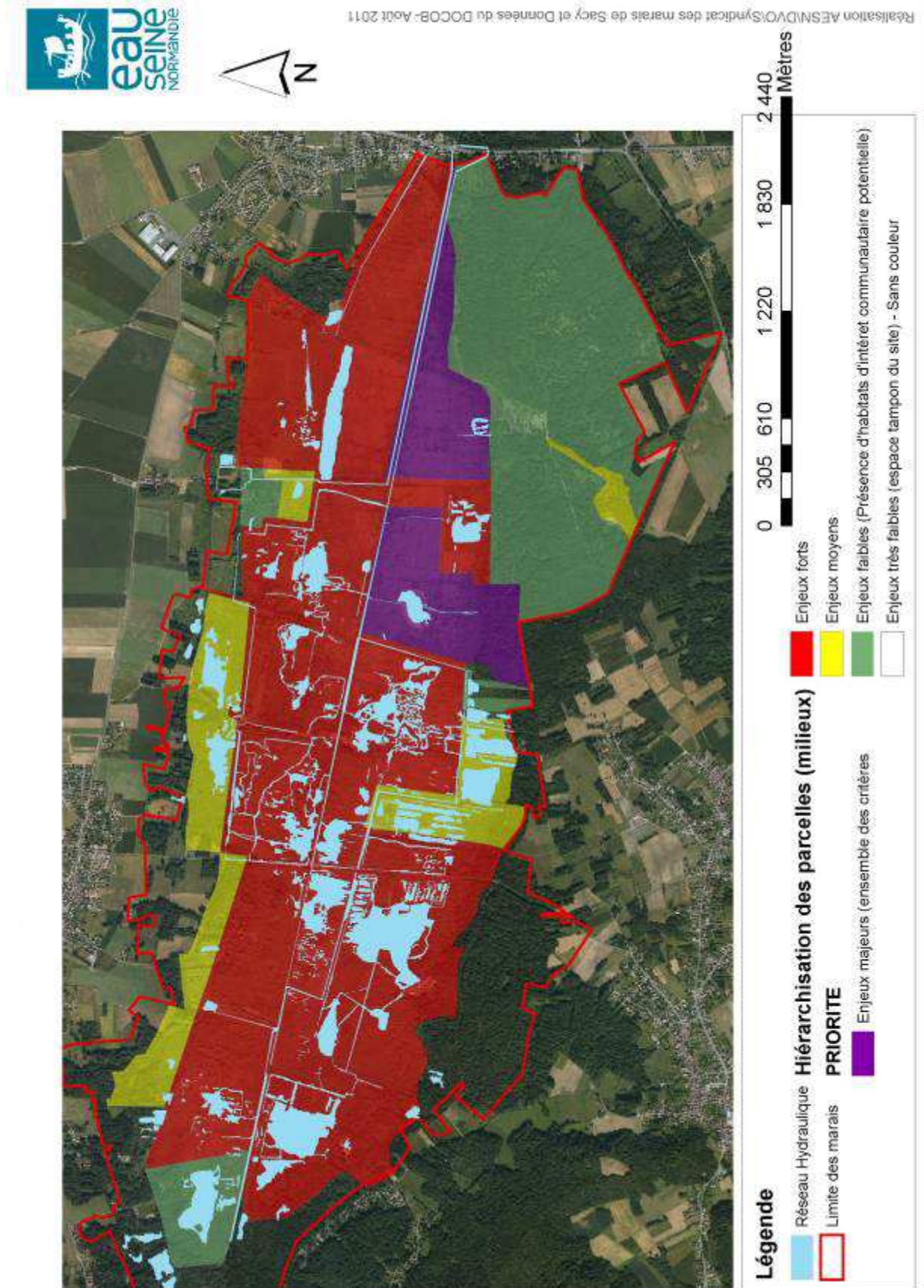


Figure 15 : Hiérarchie spatiale des enjeux relative aux milieux (habitats, espèces, etc.)

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

Sous S.I.G., on crée une nouvelle carte avec un découpage détaillé des parcelles selon deux critères fondamentaux que sont les formes globales des différents casiers hydrauliques ainsi que le découpage proposé par le document d'objectifs. Selon les notations adoptées, le classement s'effectue donc sur une échelle de 0 à 9, tandis que celui du *Docob* ne se fait que sur les échelons 0 à 5, c'est pourquoi les notes finales obtenues sont également ramenées sur une échelle de 0 à 5, soit une répartition, par somme, sur une échelle totale de 0 à 10. Les différentes classes d'enjeux à caractères hydrauliques et environnementaux sont alors dissociées comme suit :

- **7 < Enjeux total < 9 (Majeur)** : Tous les critères sont satisfaits - zone à fort enjeux hydrauliques et environnementaux, zone d'action prioritaire (zone non contrôlée par ouvrages, liée à la Frette avec une forte concentration de puits et présentant des espèces d'intérêt communautaire).
- **6.01 < Enjeux total < 6.99 (Fort)** : Zones satisfaisant les critères du *Docob* (intérêt écologique), en liaison étroite avec la Frette. Ces zones sont généralement éloignées du champ captant (impact piézométrique modéré à faible).
- **4 < Enjeux total < 6 (Moyen)** : Zone présentant soit un fort enjeu environnemental (ex : Ageux, Cinqueux, Rosoy, etc.) soit un fort enjeu hydraulique (ex : E).
- **2 < Enjeux total < 4 (Faible)** : Zones présentant des intérêts environnementaux potentiels uniquement, où aucune gestion particulière des eaux n'est utile.
- **Enjeux total < 1 (Très faible)** : Zones tampons, sans plans d'eau (ou indépendants, non reliés au drain principal).

Nom	Enj DOCOB	Enj Hydrau	CI Hydro	CI Total	Enj total
Sud-Ageux	2	0,56	TRES FAIBLE	FAIBLE	2,56
Sud-Est Vieux Chateau	2	0,56	TRES FAIBLE	FAIBLE	2,56
Sud - Vieux Chateau	3	0,56	TRES FAIBLE	FAIBLE	3,56
Ageux Sud-Ouest	3	0,56	TRES FAIBLE	FAIBLE	3,56
Ladrancourt Puits	1	3,33	FORT	MOYEN	4,33
Les Ageux	4	0,56	TRES FAIBLE	MOYEN	4,56
Ladrancourt Metro	4	0,56	TRES FAIBLE	MOYEN	4,56
Ouest Vieux Chateau	3	1,67	FAIBLE	MOYEN	4,67
CG 60 Nord	3	1,67	FAIBLE	MOYEN	4,67
Baeten 2 Nord	3	1,67	FAIBLE	MOYEN	4,67
Baeten 2 Nord Est	3	1,67	FAIBLE	MOYEN	4,67
Ladrancourt Delavaqueri	3	1,67	FAIBLE	MOYEN	4,67
Labruyère	2	2,78	MOYEN	MOYEN	4,78
Prudhomme Pestel	3	2,22	MOYEN	MOYEN	5,22
Nord Delavaquerie	2	3,33	MOYEN	MOYEN	5,33
Ageux - Est	5	0,56	TRES FAIBLE	MOYEN	5,56
Ouest Vieux Chateau	4	1,67	FAIBLE	MOYEN	5,67
Cinqueux	4	1,67	FAIBLE	MOYEN	5,67
Rosoy	4	1,67	FAIBLE	MOYEN	5,67
Baeten 2	4	1,67	FAIBLE	MOYEN	5,67
Monceaux	5	1,11	FAIBLE	FORT	6,11
Est - Monceaux	5	1,11	FAIBLE	FORT	6,11
Beaten Sud	4	2,22	MOYEN	FORT	6,22
Le Vieux Chateau	4	2,78	MOYEN	FORT	6,78
L'Oeil Pleureur	4	2,78	MOYEN	FORT	6,78
Fontaine Froide	4	2,78	MOYEN	FORT	6,78
CG 60	4	3,33	FORT	MAJEUR	7,33
Baeten 1 Nord	3	4,44	MAJEUR	MAJEUR	7,44
La Cuiller à Pot	4	3,89	FORT	MAJEUR	7,89
Les Sources	4	3,89	FORT	MAJEUR	7,89
Baeten 1	4	4,44	MAJEUR	MAJEUR	8,44

Figure 16 : Hiérarchisation et notations des terrains selon des critères hydrauliques et environnementaux

Légende :

Enj_DOCOB : Notation issue du document d'objectifs.

Enj_Hydrau : Notation prenant en compte les critères hydrauliques uniquement.

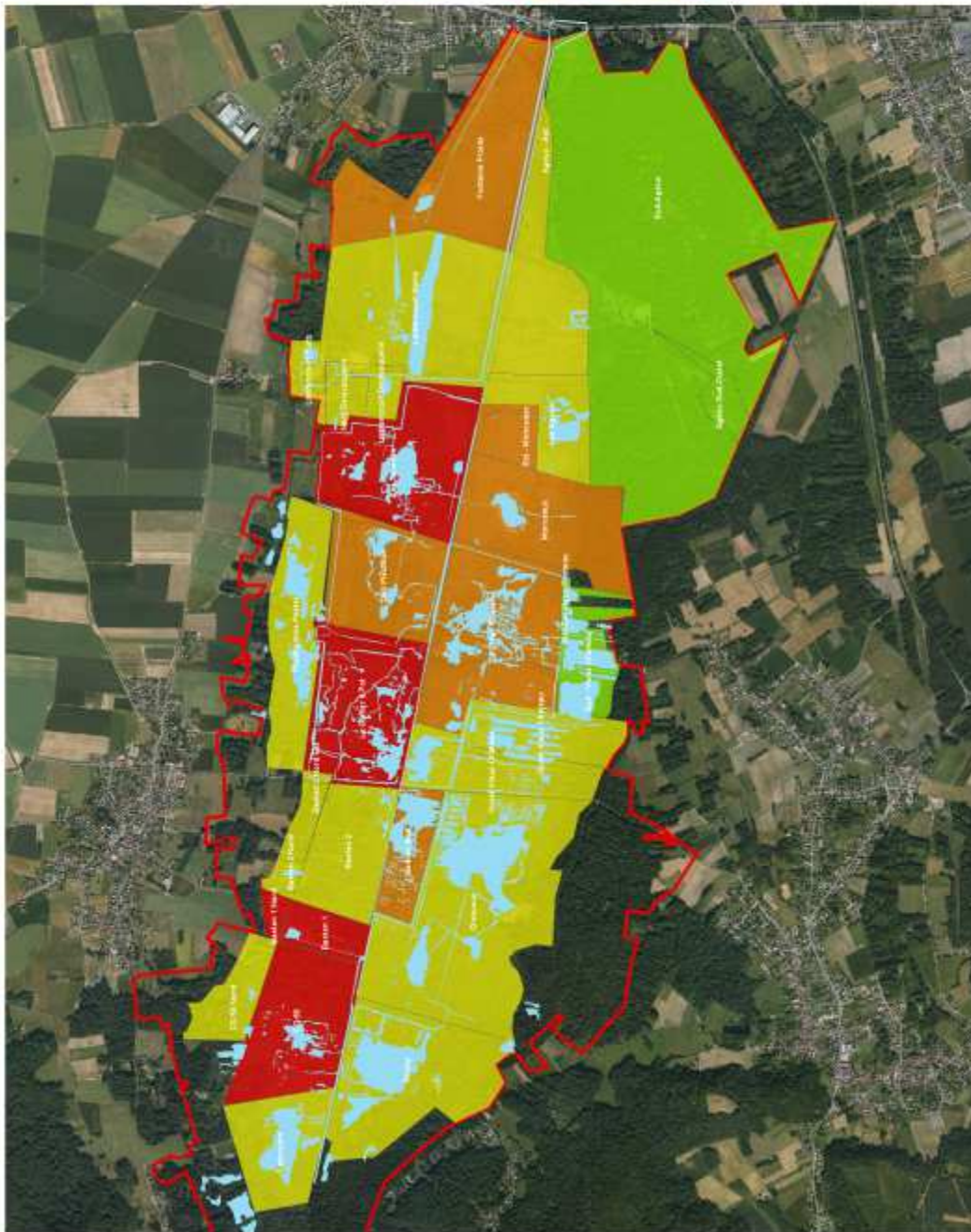
CI_Hydro/CI_Total : Classifications respectives sur les échelles d'enjeux hydrauliques et environnementaux.

Enj_Total : Note finale qui a permis de réaliser la carte de la figure 17.



Réalisation AESN/DVO/S/ Syndicat des marais de Sacy et Données du DOCOB - Août 2011

Hierarchie spatiale des enjeux (hydrauliques et milieux)



Légende

- Réseau Hydraulique
- Hierarchie des casters**
- Cl_Total**
- MAJEUR
- FORT
- MOYEN
- FAIBLE
- TRES FAIBLE
- Limite des marais

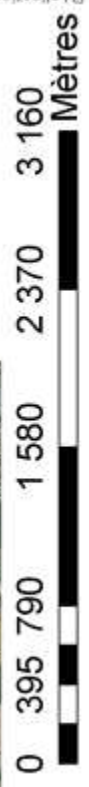


Figure 17 : Cartographie de la hiérarchie spatiale des enjeux (hydrauliques et environnementaux)

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

On observe que cette hiérarchisation permet d'orienter les actions de gestion des eaux sur un choix de trois à quatre zones prioritaires dont on en précise ci-dessous les caractéristiques hydrauliques et environnementales :

NB : Les espèces mentionnées ici sont toutes classées « *Habitats d'intérêt communautaire* ».

- Zone C / D

- Hydraulique :
 - Concentration de 7 puits artésiens liés à la Frette via un fossé.
- Flore & Faune :
 - Herbiers de characées et herbiers à Utriculaire (0,3 ha)
 - Prairies tourbeuses à molinie bleue (2,1 ha)
 - Roselière à marisque (10 ha)
 - Végétation aquatique des plans d'eau eutrophes (*Eaux oligo-mésotrophes calcaires avec végétation benthique à Characées, lacs eutrophes naturels avec végétation du Magnopotamion ou de l'Hydrocharition*) (environ 5 ha)
 - Peuplement avifaunistique typique des roselières peu exprimé.
 - Etat de conservation qualifié de moyen (assèchement et atterrissement de la roselière)

- Zone J « La cuiller à Pot »

- Hydraulique :
 - Concentration de 8 puits à forts débits reliés à une grande mare « *Les Grands Flamands* » via un fossé. Cette mare se déverse dans la Frette.
- Flore & Faune :
 - Roselières à marisques (2,4 ha)
 - Végétation aquatique eutrophe (3,5 ha) (*Eaux oligo-mésotrophes calcaires avec végétation benthique à Characées, lacs eutrophes naturels avec végétation du Magnopotamion ou de l'Hydrocharition*)

- Zone J « Les Sources »

- Hydraulique :
 - Sources actives directement liées à la Frette. Présence en amont de 10 puits artésiens reliés aux sources via un fossé.
- Flore & Faune :
 - Roselière à marisque (69,9 ha)
 - Végétation aquatique des plans d'eau eutrophes (23 ha) (*Eaux oligo-mésotrophes calcaires avec végétation benthique à Characées, lacs eutrophes naturels avec végétation du Magnopotamion ou de l'Hydrocharition*)
 - Prairie tourbeuse à molinie bleue (0,3 ha)

Même si aucun critère environnemental n'y est satisfait, on propose tout de même d'agir sur la zone de **E** étant donnée la très forte concentration de puits artésiens (29 puits artésiens moyennement à fortement actifs reliés à la Frette par le canal de E).

Enfin, il convient d'établir un ordre de préférence final entre ces quatre zones. En effet, il semble préférable d'orienter la gestion des puits artésiens en premier lieu sur la zone de E où les enjeux hydrauliques et environnementaux sont totalement opposés (puis sur les trois autres

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

zones). En d'autres termes, l'absence d'espèces protégées ou de contraintes liées au milieu est un atout permettant d'envisager des méthodes de gestion des puits plus radicales sans conséquences risquant de mettre en péril les espèces à proximité.

CHAPITRE 2 :

**GESTION PRATIQUE DES PUIITS ARTESIENS
ET DES EAUX DES MARAIS**

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

4. LA GESTION DES PUIITS ARTESIENS

4.1. Contexte et problèmes

Les marais sont traversés d'Ouest en Est par un canal artificiel, la Frette constituant le drain principal de toute la cuvette.

En l'absence d'un dispositif de gestion des eaux des marais assisté par des ouvrages hydrauliques de régulation des niveaux d'eau et des débits, la Frette permet l'évacuation des eaux vers l'Oise, et ce, avec des débits importants, notamment en période hivernale (débit mesuré à 1035 m³/h au 10/01/2011).

4.2. Les données actuellement disponibles sur la gestion des puits artésiens

Une étude récente confiée au bureau d'étude *Hydratec* a permis une modélisation du fonctionnement de la nappe afin d'en améliorer sa connaissance, prenant en compte cet aspect de gestion des puits artésiens.

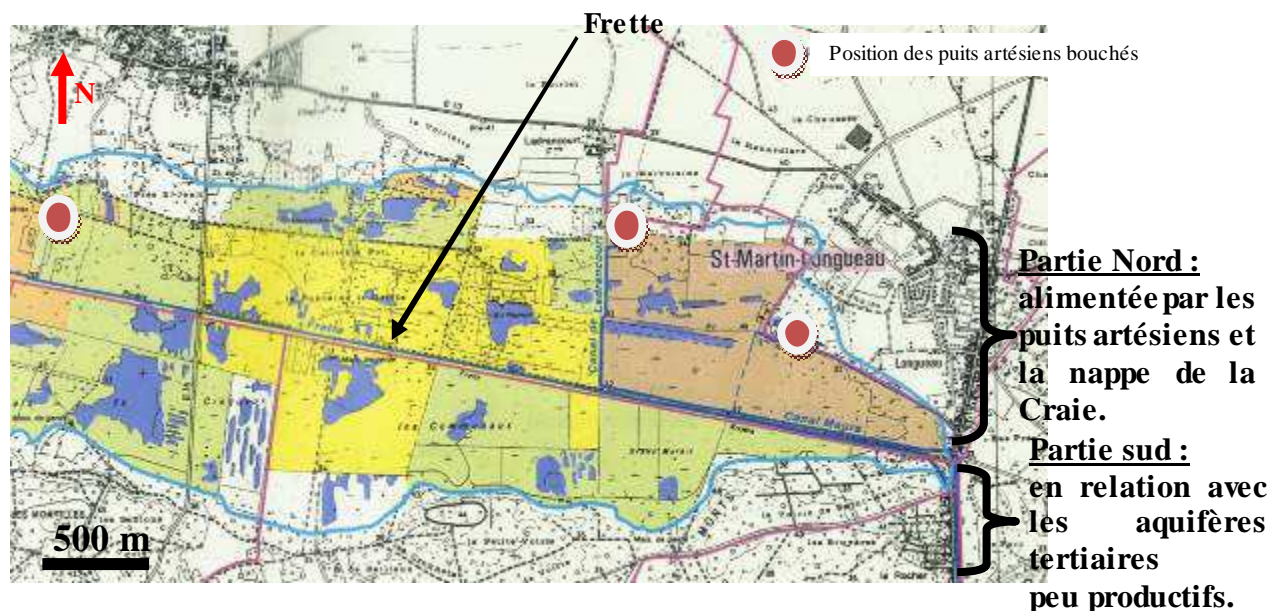


Figure 18 : Localisation des trois puits colmatés sous modélisation

Cette étude a simulé le colmatage de trois zones actives de puits artésiens par injection du volume total sortant équivalent sous *Modflow*. Les débits concernés par les trois zones ont été fixés à 1728 m³/j d'après les premières mesures réalisées in situ début 2011.

Le résultat de cette simulation a montré un impact piézométrique positif sur le marais de Sacy avec une hausse de 0,1 à 1,5 m du niveau de la nappe.

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

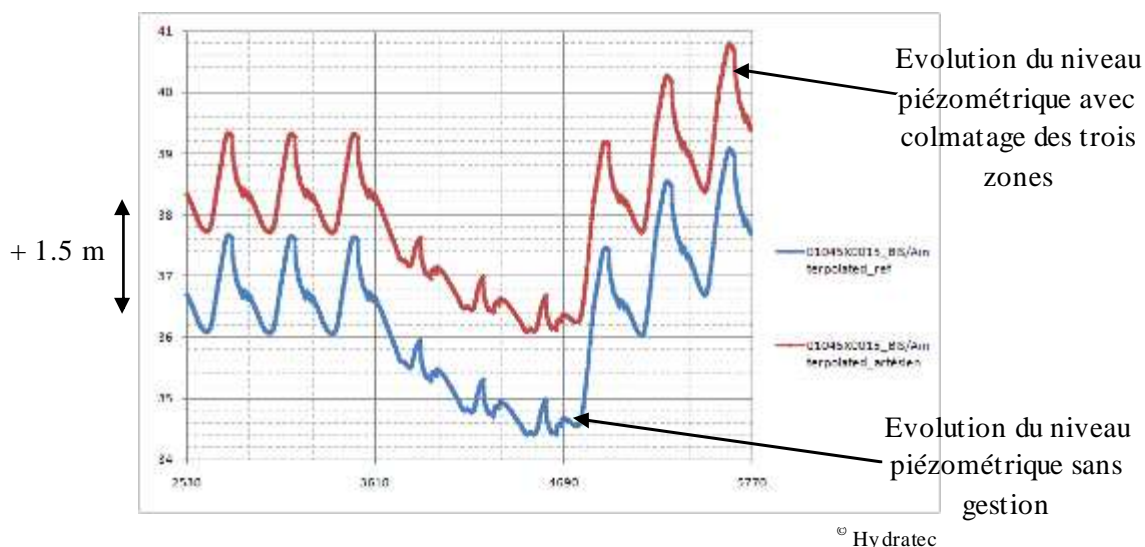


Figure 19 : Comparaison des évolutions piézométriques de la nappe au niveau des marais avec et sans tubage des puits

4.3. Essais de tubage expérimentaux préliminaires

Certains essais expérimentaux ont été réalisés sur le terrain par simples tubages de quelques puits (environ 15), situés près du canal de E. Ils ont permis, par mesure de débit en aval du canal, de montrer en 24h seulement, une réduction du débit de moitié (294.3 m³/h avant tubage contre 149.3 m³/h après).



Figure 20 : Photographie illustrant le tubage d'un puits artésien actif à E

Dans l'optique d'une gestion correcte des puits artésiens des marais, il est nécessaire d'avoir une connaissance globale du nombre total de puits implantés dans les marais, de leurs caractéristiques techniques et de leurs degrés d'activité. Or, jusqu'en juin 2011, le nombre total de puits était encore débattu et seules les zones en concentrant beaucoup étaient connues. Une phase de recensement a donc été lancée par l'agence de l'eau et le syndicat mixte le mois suivant.

4.4. Le recensement des puits artésiens des marais

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

Cette phase de travail a permis d'identifier la présence de 88 puits artésiens répartis sur toute la bordure Nord des marais. Des données sur le contexte hydrologique superficiel de chacun des puits, mais aussi sur les caractéristiques techniques ont été répertoriées (diamètre, état, degré d'activité, localisation géographique sur des orthophotographies et des cartes I.G.N. au 1/25000^{ème}).

N.B. : On propose cette carte en plus grand format en annexe 6. L'annexe 5 est un exemple des données répertoriées pour chacun des puits sous forme de fiche synthétique.

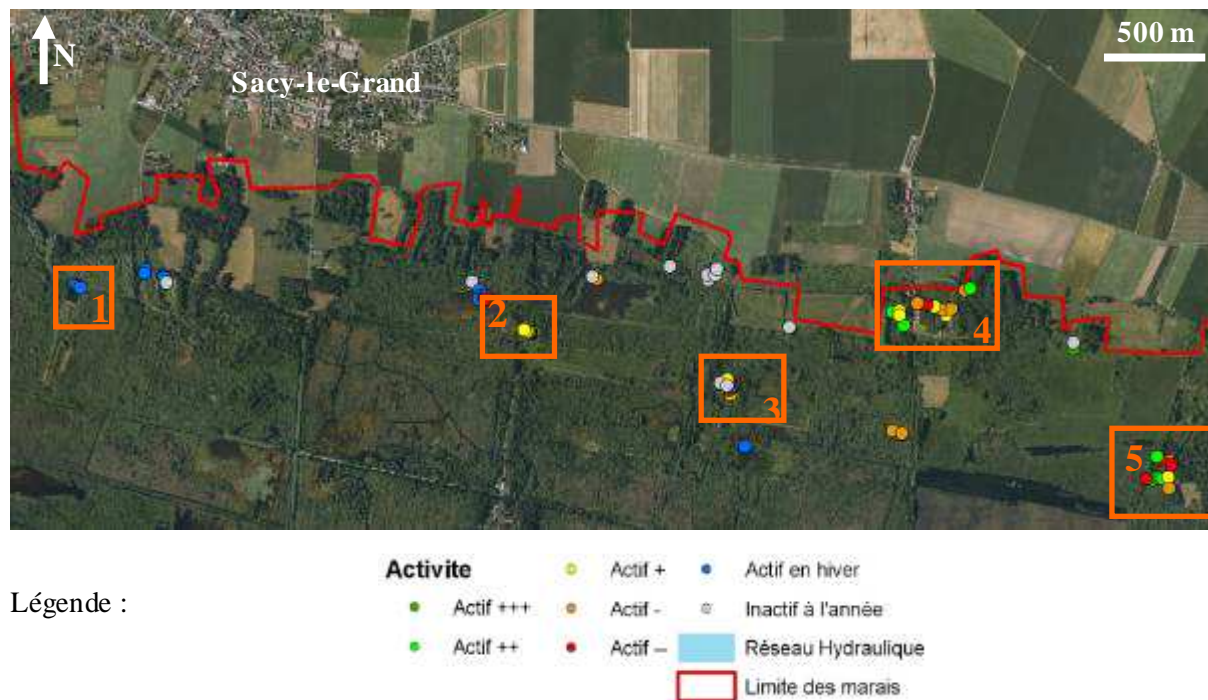


Figure 21 : Cartographie S.I.G. des degrés d'activités des puits artésiens recensés au nord des marais

Sur les 88 puits recensés, seuls **14.9 %** sont inactifs à l'année. On recensera notamment la présence de cinq zones géographiques à forte concentration en puits actifs (matérialisées en orange sur la carte) :

- **1.** Mare de Mr. D : **7** puits actifs dont **6** en hiver seulement.
- **2.** Fossé de Mr. J : « *La cuiller à Pot* » : **10** puits actifs.
- **3.** Fossé de Mr. J « *Les sources* » : **10** puits dont **6** actifs à l'année.
- **4.** Hameau de E : **29** puits actifs.
- **5.** Mare de Mr. B : **10** puits actifs.

On présente ci-dessous la répartition des puits recensés (leur activité est classée sur une échelle via un critère d'évaluation visuelle (du moins actif (- -) au plus actif (+++)).

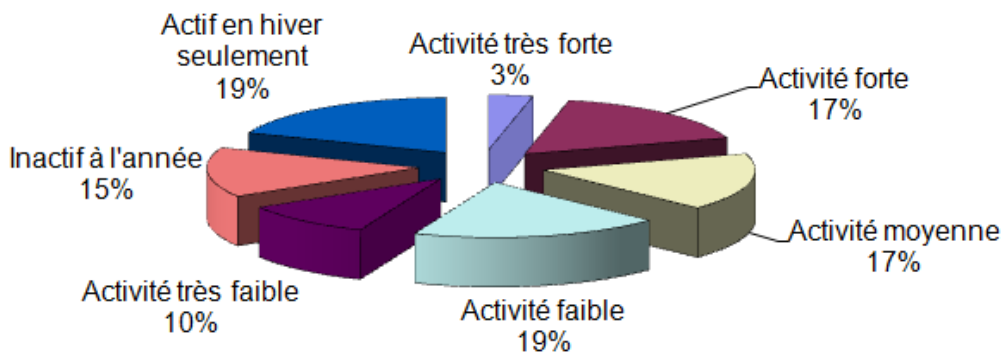
Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

Figure 22 : Répartition des degrés d'activité des puits artésiens sur le nord des marais de Sacy

A l'heure actuelle, il n'existe aucune fiche technique détaillée d'ouvrage pour les puits artésiens des marais. La banque du sous sol contient quelques coupes simplifiées de certains puits. Face à la difficulté de trouver des archives techniques, leurs origines, leur ancienneté et leurs modes de mise en place restent toujours inconnus. Lors de visites de terrain, il a seulement été mentionné par l'un des propriétaires que le pic d'activité des cressonnières datait de la période de l'entre deux guerres. Concernant leurs profondeurs moyennes, on estime, d'après les données de la banque du sous-sol et des quelques données récoltées sur le terrain, que celles-ci s'échelonnent entre 15 et 20 m. Pour quelques ouvrages cependant, les profondeurs exactes sont connues : citons par exemple le puits du C à l'Ouest, (zone « *E/Méto* ») de 14 m de profondeur, les puits de la zone « *A* » d'une profondeur de 40 m ou encore d'autres situés sur la zone « *B* » d'une profondeur de 15 m.

4.5. Techniques de contrôle/fermeture des puits artésiens

« Les techniques impliquées pour les actions de fermeture/bouchage des ouvrages d'eau nécessitent une analyse détaillée du contexte géologique, hydrogéologique, environnemental, des caractéristiques, de l'état physique et des conditions de réalisation de l'ouvrage. [...] Dans tous les cas, il est important de demander au propriétaire de l'ouvrage sa coupe géologique et [...] technique. » (B.R.G.M., *Notice de contrôle et fermeture des puits et forages*, B.R.G.M./RP-52353-FR, 2003, 18p.)

La méconnaissance actuelle du fonctionnement des marais et de son contexte géologique local précis est un frein majeur qui permettrait d'envisager d'emblée la mise en place d'un bouchage définitif. En effet, l'acquisition de données et l'évaluation des réponses du système face au tubage nécessite une méthode réversible et flexible de maîtrise des puits. C'est la raison pour laquelle on propose une fermeture des puits en deux étapes :

1^{ère} phase : Période expérimentale d'acquisition de mesures sur les marais

Durant cette phase, on propose de conserver le système de tubage des puits utilisé lors de la phase de test qui consiste simplement à encapuchonner le puits via un tube de diamètre supérieur et de hauteur supérieure à celle de la partie hors-sol du puits. Il a pour effet d'arrêter l'écoulement (cf. Fonctionnement hydraulique détaillé du tubage : § 2.2.3.).

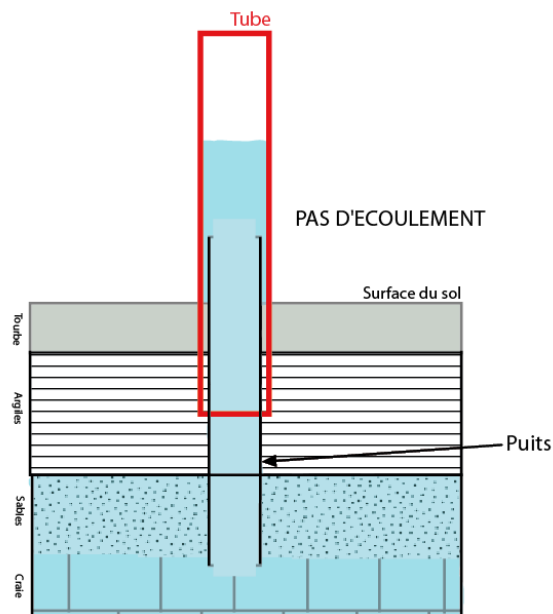


Figure 23 : Illustration du procédé de tubage

Cette méthode possède, compte tenu du contexte plusieurs avantages :

- Elle est peu contraignante et rapide à mettre en place.
- La stabilisation de l'écoulement est directement visible en quelques dizaines de secondes (durée variable selon le débit du puits).
- Elle est réversible : les puits peuvent être ultérieurement et facilement remis en activité dans le cas où une gestion mal orientée sur les contrôles des débits dans les marais entraînerait des diminutions trop importantes.
- Au niveau de la partie captive de la nappe, une fois le niveau d'eau stabilisé, le tube à un rôle similaire à celui d'un piézomètre (sous réserve de coter soit le sommet du tube, soit d'implanter une échelle cotée à proximité de celui-ci mais également que le puits ne soit pas défectueux (fuites importantes, etc.), le niveau piézométrique résultant de la mesure via un tel tube ne reflétant alors pas le niveau libre de la nappe).
- Plusieurs tubes peuvent donc se substituer à un réseau de piézomètres forés ce qui est techniquement et financièrement plus avantageux.
- Le tubage de plusieurs puits situés près les uns des autres permettent de voir si une résurgence se crée à proximité (notamment dans la zone Nord des marais où l'épaisseur de la couche argileuse est supposée faible). Si tel est le cas, il est inutile d'envisager une méthode de bouchage définitif. Ceci évite de mettre en place un procédé coûteux ne fonctionnant pas.

Cependant, ce procédé n'est pas optimum pour maximiser la quantité d'eau conservée dans la nappe (problème de connexion étanche entre le puits et le tube). On conseille donc de prévoir un système pour améliorer l'étanchéité entre les deux unités (Système de joints ou soudure). En ce qui concerne les fuites, il est toujours possible d'insérer un tube P.V.C de diamètre légèrement inférieur dans le tube du puits, de façon à obstruer les trous et protéger les parois.

2^{ème} phase : Bouchage définitif des puits artésiens

Etant donné le contexte d'acquisition de mesures sur le milieu, entreprendre le bouchage définitif d'un puits, c'est s'assurer des points suivants :

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

- La zone cible n'aura présenté aucune résurgence majeure suite à la pose des tubes. En effet, du fait de l'obturation de la sortie d'eau à partir de la nappe, le risque de résurgence peut être augmenté. Si des sorties d'eau annexes ont été observées en surface lors du tubage, on ne peut donc pas envisager un bouchage définitif sous risque d'amplifier ce phénomène.
- La phase de mesures et de calculs du volume d'eau conservé dans la nappe (ou éventuellement sa confirmation par suivi piézométrique) aura montré des résultats satisfaisant (objectif de 1110 m³/jour minimum).

A l'inverse, on pourra envisager de boucher de façon irréversible un puits si son tubage ne montre aucun résultat positif ou significatif (fuites trop importantes dues à une mauvaise étanchéité, ou à un tube du puits déjà trop détérioré).

Dans tous les cas, ce n'est qu'à l'issue des analyses de données acquises que l'on pourra envisager ou non une telle technique et cibler les puits à boucher de façon définitive.

Technique de bouchage définitif d'un puits artésien :

Le bouchage des puits doit être fait de manière étanche, de façon à bien isoler chaque formation géologique mise en contact par le puits.

Ceci nécessite donc une certaine méthodologie précise mise en œuvre à l'aide de certains matériaux. Le protocole, qui peut se scinder en deux cas, s'effectue selon les étapes suivantes :

Cas n°1 : Le tube en place peut être arraché

- **Etape 1 :** La partie du tube qui se trouvait implanté dans l'aquifère est comblée par un matériau stable et inerte. (Eviter à tout prix d'utiliser du ciment, de l'introduire par gravité dans le puits, ce qui donne le plus souvent des résultats aléatoires du fait de la pression (même faible ici) dans la nappe due à l'artésianisme). Ce comblement doit se faire jusqu'au toit de l'aquifère.
- **Etape 2 :** Au niveau de ce dernier, mettre en place un joint d'étanchéité (ensemble de boules d'argiles) qui permettra, par gonflement, d'assurer une barrière étanche depuis l'aquifère et de rétablir la continuité imperméable du toit de la nappe.
- **Etape 3 :** Ce bouchon doit être surmonté d'une zone cimentée mise en place via une canne d'injection qui permettra un remplissage progressif par le fond du forage (cf. Fig. 26).
- **Etape 4 :** La colonne dans sa partie supérieure sera remblayée par un matériau stable et inerte si la cimentation jusqu'en haut n'est pas économiquement justifiable, jusqu'à une profondeur de -2 mètres par rapport à la surface du sol.
- **Etape 5 :** Une chape de béton sera ensuite coulée, enterrée ou pas selon l'utilisation postérieure du terrain.

Cas où le tube est arraché

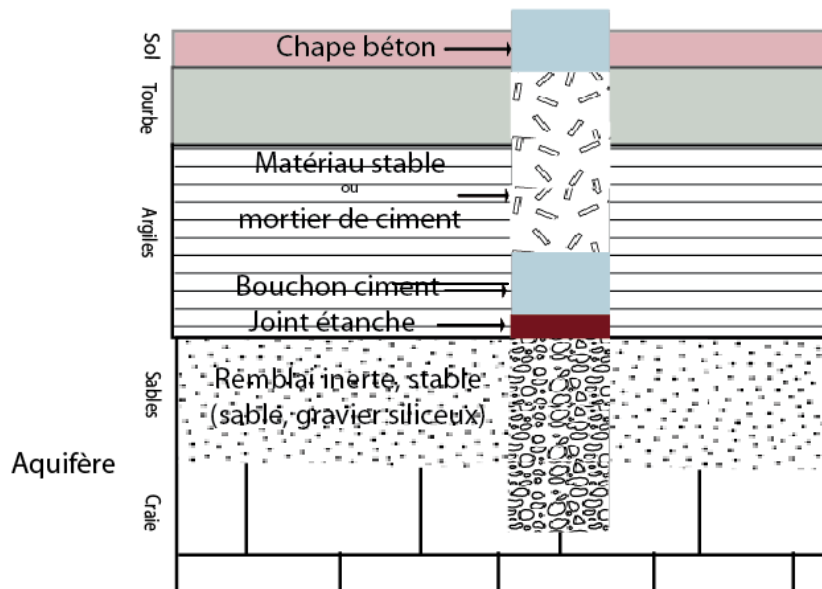


Figure 24 : Illustration du protocole de tubage (cas où le tube est arraché et où le sol n'est pas réutilisé)

Cas n°2 : Le tube en place ne peut pas être arraché

- **L'étape 1** est identique à celle du protocole précédent.
- **Étape 2** : La colonne en place doit être perforée au niveau du toit de l'aquifère pour y injecter le « packer » (joint d'étanchéité).
- **Étape 3** : Le tube est rempli de ciment par une canne d'injection.
- Les **étapes 4 et 5** sont identiques sauf que la colonne doit être sectionnée le plus bas possible.

Cas où le tube est laissé en place

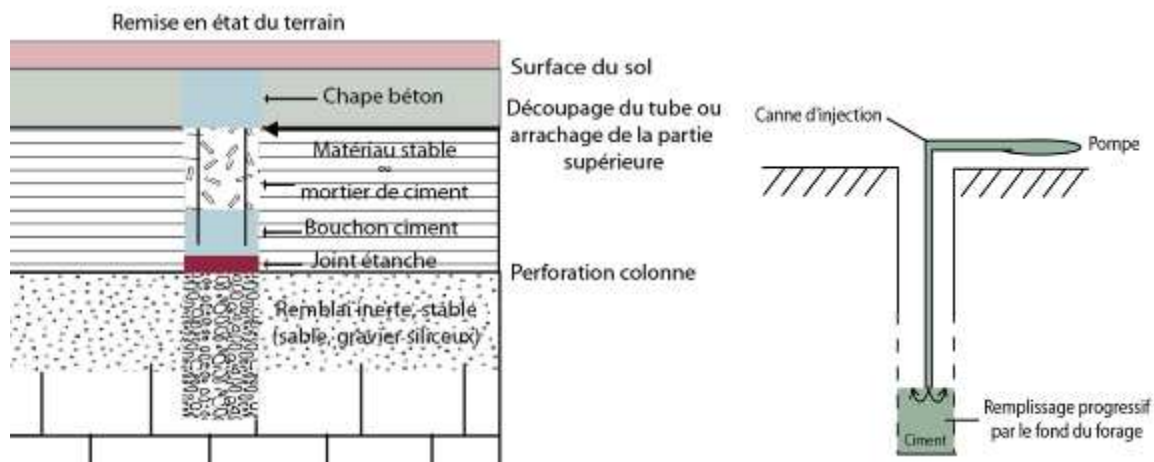


Figure 25 et 26: Illustration du protocole de bouchage (cas où le tube n'est pas retiré et où le sol est réutilisé) - Mode de cimentation du puits

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

On pourra s'assurer qu'une fois le bouchage réalisé, il ne subsiste aucune fuite aux alentours de l'ouvrage (vérification de son étanchéité).

4.6. Choix des puits ciblés par le plan de gestion

N.B.1 : Dans ce qui suit, les indices des puits (Ex : J-13, E-18, etc.) et les indices de fiches (Ex : F1, F2, etc.) font référence à la nomenclature adoptée dans l'inventaire réalisé lors du recensement des puits « *Inventaire des puits artésiens et des zones de sources* ».

N.B.2 : Les puits situés en zone 5 (cf. Fig. 21) ne feront pas l'objet d'une action de gestion, ceux-ci étant situés dans une mare reliée au canal de la Fontaine Froide (zone potentielle de mesure de débit). Le niveau de la mare y est déjà contrôlé par batardeau.



Figure 27 : Photographie d'un puits artésien très actif (débit « +++ », propriété de Mr. J)

Compte-tenu des expériences déjà réalisées sur quelques puits artésiens, des résultats obtenus et en accord avec l'ingénieur technicien des marais qui a réalisé ces essais, la gestion des puits pour chaque zone a été définie en deux temps. Elle est la suivante :

- Tuber l'ensemble des puits des quatre zones d'actions (E, « J - *La Cuiller à Pot* », « J - *Les sources* » et « D »).
- Mettre en place un système de tubes vannés sur les puits définis ci-après, ce qui permettra de réguler le débit des puits, selon les besoins et les observations faites suite au tubage (stabilité du système, débits trop faibles en aval, résurgences à proximité, etc.).

On propose d'agir sur les puits répertoriés dans le tableau suivant :

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

Propriétaire	Grande zone des marais	Indice du puits	Indice de la fiche	Localisation	Activité du puits	Coordonnées Lambert 93	Liaisons entre objets hydrauliques
Privé	E	E_14	F39	Mare Privé	Actif à l'année (++)	X=669393,35 Y=6916281,03	Mare avec exutoire (canal de E relié à la Frette)
Privé	E	E_18	F43	Mare Privé	Actif à l'année (++)	X=669346,58 Y=6916295,04	Mare avec exutoire (canal de E relié à la Frette)
Privé	E	E_20	F45	Mare Privé	Actif à l'année (++)	X=669373,98 Y=6916290,1	Mare avec exutoire (canal de E relié à la Frette)
Mr. J	Zone J	J_12	F80	Fossé « La cuiller à pot »	Actif à l'année (++)	X=667924,43 Y=6916200,78	Fossé relié à la Frette via l'intermédiaire de la mare des Grands Flamands
Mr. J	Zone J	J_15	F83	Fossé « La cuiller à pot »	Actif à l'année (+++)	X=667918,44 Y=6916206,16	Fossé relié à la Frette via l'intermédiaire de la mare des Grands Flamands
Mr. J	Zone J	J_16	F85	Fossé « La cuiller à pot »	Actif à l'année (+++)	X=667917,4 Y=6916198,68	Fossé relié à la Frette via l'intermédiaire de la mare des Grands Flamands
Mr. J	Zone J	J_01	F69	Fossé en amont des sources	Actif à l'année (+)	X=668635,34 Y=6915983,92	Fossé relié à la Frette par l'intermédiaire de la mare des Sources
Mr. J	Zone J	J_03	F71	Fossé en amont des sources	Actif à l'année (-)	X=668632,38 Y=6916002,32	Fossé relié à la Frette par l'intermédiaire de la mare des Sources
Mr. J	Zone J	J_07	F75	Fossé en amont des sources	Actif à l'année (++)	X=668624,02 Y=6916035,31	Fossé relié à la Frette par l'intermédiaire de la mare des Sources
Mr. D	Zone D	D_02	F19	Mare D	Actif à l'année (-)	X=666294,6 Y=6916372,16	Mare reliée à la Frette par un canal
Mr. D	Zone D	D_04	F21	Mare D	Actif en hiver seulement	X=666306,72 Y=6916365,29	Mare reliée à la Frette par un canal

Figure 28 : Tableau récapitulatif des caractéristiques de localisation et d'activité des puits sélectionnés

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

Précisons ici que ce nombre de 11 puits indiqué ci-avant n'est qu'indicatif. Il pourra éventuellement être modulé en fonction des résultats de gains de débits mesurés, des observations de terrain (résurgences à proximité) et des coûts financiers que cette opération entrainera.

4.7. Justification du choix des puits

Ces choix sont faits, à la fois, dans le but:

- de permettre la mise en place de façon simple de moyens d'actions sur les puits (raisonnement en termes de facilité d'accès et de mise en œuvre technique),
- de tirer profit du fait que les locaux (locataires, propriétaires et/ou riverains) ont eu connaissance du projet et se sont montrés coopérants pour une gestion concertée de l'eau de leurs parcelles de façon à ne pas trop ralentir le processus de gestion,
- de jouer sur les positions stratégiques des puits cibles, en termes de représentativité des casiers hydrauliques importants (contexte hydrologique, liaison au drain principal, etc....) et des ouvrages hydrauliques de contrôle déjà en place, de façon à obtenir des résultats sensibles dans les meilleurs délais possibles.

4.7.1. Zone E

Cette zone est d'ores et déjà utilisée pour les tubages expérimentaux réalisés par le Syndicat. L'accessibilité y est bonne (route principale du hameau de E à proximité, les trois puits sont en bordure de berges). Les habitants ont déjà connaissance du projet de gestion active des puits artésiens et se sont montrés coopérants pour des actions futures. Ce secteur possède un point de contrôle non négligeable à proximité que sont deux zones de sources (fiches Zs01 et Zs02 dans « *Inventaire des puits artésiens et des zones de sources* ») situé directement en amont des puits, qui permettrait d'observer un regain éventuel d'activité suite au bouchage des puits. Ce casier hydraulique est lié à la Frette par un canal dont une portion est utilisée comme point de mesure de débit : une action sur les puits en amont permettrait d'évaluer de manière rapide l'efficacité de la gestion des puits artésiens en amont. Enfin, cette zone ne peut faire l'objet d'aucun autre processus de contrôle type batardeau du fait de la présence d'habitations à proximité.

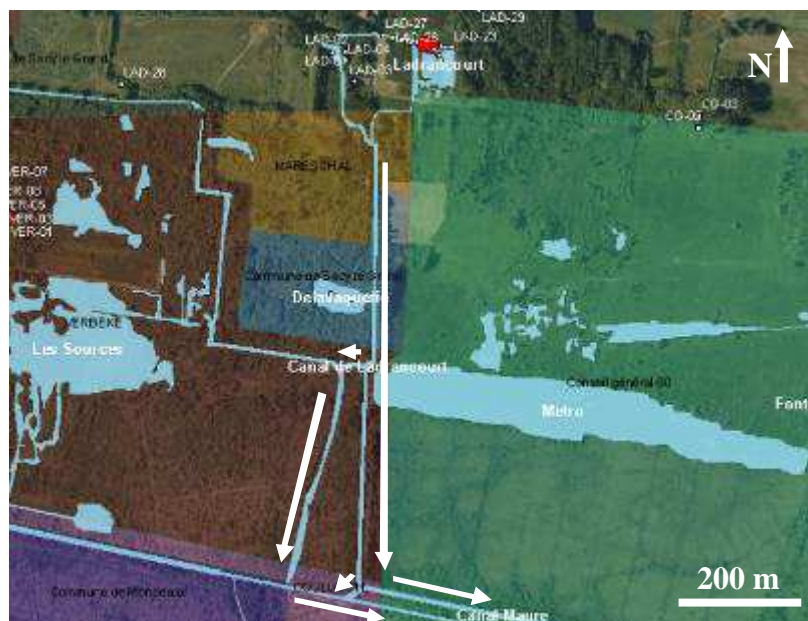


Figure 29 : Positions des puits gérés/vannés (en rouge) à E

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

N.B. : Les flèches blanches indiquent le trajet de l'eau de ce casier hydraulique vers la Frette. Ceci s'applique aussi pour les figures 30, 31 et 32.

4.7.2. Propriété de Mr. J

- « La cuiller à Pot »

Ce fossé présentant une forte concentration en puits très actifs est relié indirectement à la Frette, par l'intermédiaire de la mare des « *Grands Flamands* » via un canal ne disposant actuellement d'aucun ouvrage hydraulique de contrôle. L'accessibilité au fossé est bonne ; celle-ci peut se faire via un chemin carrossable depuis l'entrée de la propriété (route D75). Les puits situés dans ce fossé (d'une largeur d'environ 4 à 5 mètres) sont situés en bords de berges.



Figure 30 : Positions des puits gérés/vannés (en rouge) sur la zone de "La cuiller à pot"

- « Les sources »

La localisation hydraulique des puits vis-à-vis de la Frette est totalement identique à celle présentée dans le cas du fossé de « *La cuiller à Pot* » (liaison par un fossé à une mare « *Les sources* », laquelle se déverse dans la Frette, par un petit fossé non contrôlé par batardeaux ou vannes). De même que précédemment, le fossé est très facile d'accès depuis un chemin proche.



Figure 31 : Positions des puits gérés/vannés (en rouge) sur la zone "Les sources"

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

Le suivi des puits pourrait plus aisément être effectué du fait de la présence d'un garde à temps plein sur la propriété. Ce dernier ainsi que le propriétaire ont connaissance du projet même si cependant aucun accord officiel n'a été conclu entre le propriétaire et le Syndicat des marais.

4.7.3. Propriété de la commune de Sacy – zone de Mr. D

Cette zone concentre 6 puits situés en bords de berges dans une mare liée à la Frette par le biais d'un canal non contrôlé par un ouvrage hydraulique. Cependant, l'accès en barque pour certains (*D-04* notamment) y est nécessaire. L'accès à la mare est très bon (chemin carrossable jusqu'en bord de mare/entrée de la propriété).

L'accès en barque y est facilité, grâce à un entretien très récent (juillet 2011) de la végétation des berges (berges dégagées). Le locataire s'est manifesté pour travailler en coopération avec le syndicat.



Figure 32 : Positions des puits gérés/vannés sur la zone D

4.8. Phase expérimentale de tubage des puits

L'objectif de l'ordre chronologique des actions proposées par la suite est d'obtenir une série de données initiale avant mise en place des ouvrages de rétention et des tubages des puits, puis, après maîtrise progressive de chaque casier hydraulique, de pouvoir évaluer, par comparaison, l'ordre de grandeur du gain occasionné par chaque étape de gestion. Cet ordre permettra d'évaluer à la fois :

- La pertinence des endroits choisis.
- L'efficacité des actions menées.
- Le cas échéant, les modifications à mettre en place si les résultats ne sont pas aussi concluants que prévu.

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

4.8.1. Opérations de la phase expérimentale de tubage

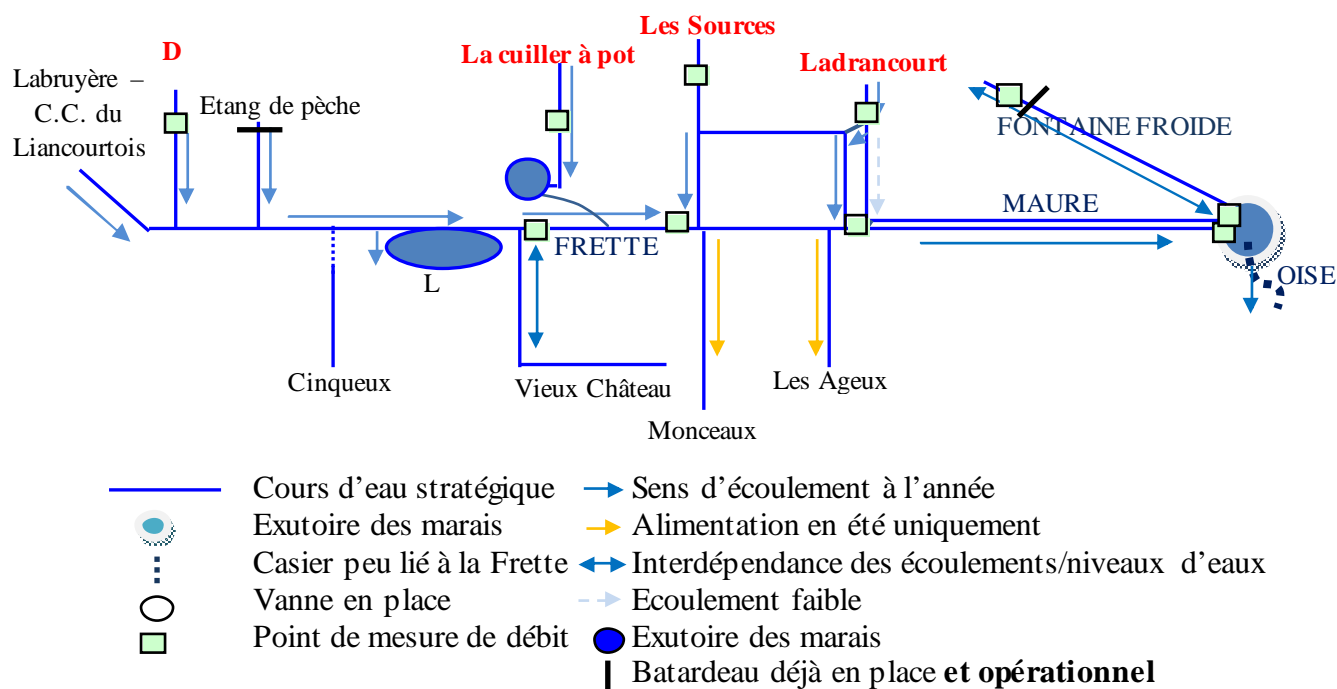


Figure 33 : Schématisation sommaire de l'agencement des cours d'eau des marais de Sacy

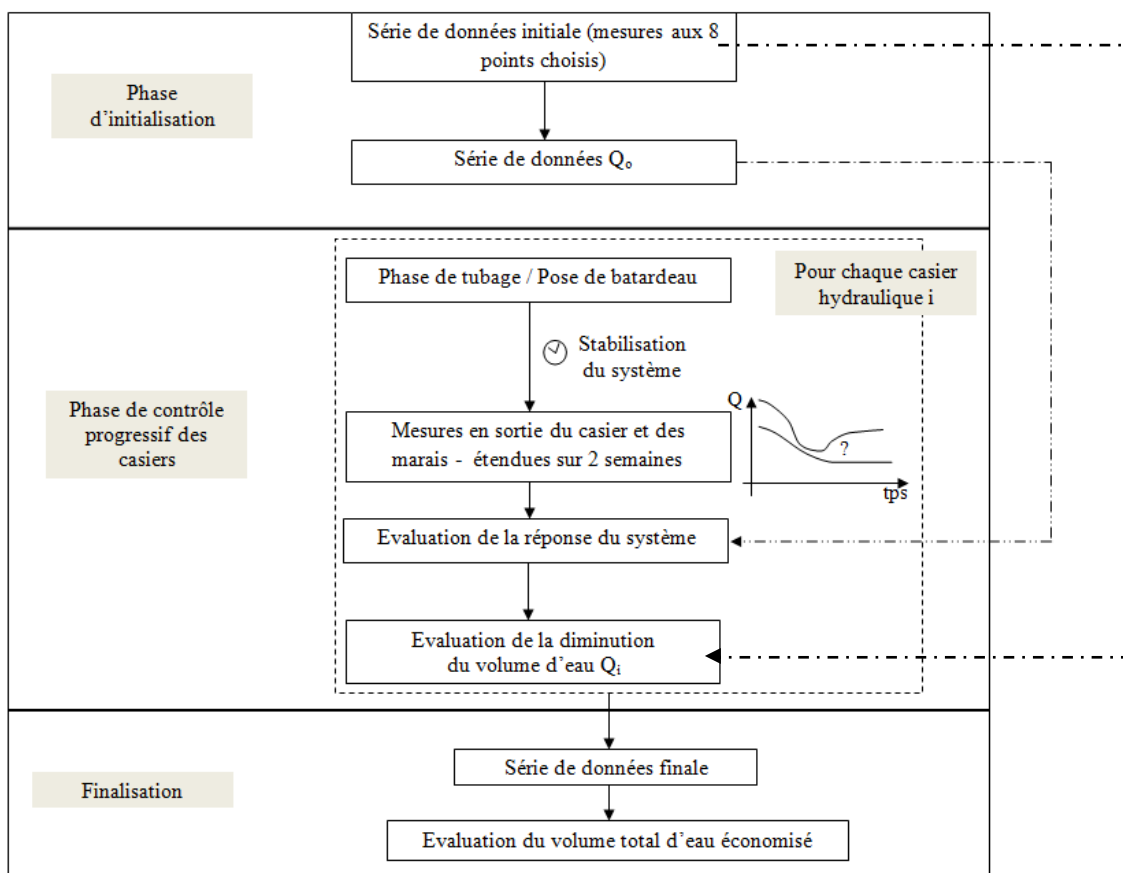
4.8.1.1. Conditions expérimentales :

Il est conseillé de mettre en place cette phase expérimentale de préférence en période de hautes eaux (entre novembre et avril) mais dans des conditions météorologiques stables ; d'éviter les mesures en périodes de fortes pluies prolongées, de fonte des neiges ou encore en période de fort gel/dégel afin de ne pas modifier la mesure. Les différentes étapes du processus peuvent être espacées dans le temps si les conditions de temps stables sont maintenues sur toute la durée de la mise en place du test. Lors de la phase progressive de tubage, ni les batardes en place, ni les degrés d'ouverture des vannes préexistantes ne doivent être dérégées de leurs positions initiales.

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

4.8.1.2. Protocole expérimental :

Présentons le protocole expérimental par le biais du schéma ci-dessous :



Légende :

-----> Mise en relation des données obtenues

Figure 34 : Protocole expérimental de mesure de débit

4.8.1.2.1. Evaluation du temps de stabilisation du système par modélisation *Modflow*

Il est supposé que lorsque l'on tube plusieurs puits, la pression dans la nappe augmente localement, ceci pouvant entraîner des résurgences ponctuelles à proximité. Si tel est le cas, on voudrait connaître le temps au bout duquel celles-ci peuvent apparaître. La connaissance d'un tel paramètre nous permettrait de connaître l'échelle de temps sur laquelle il est nécessaire d'échelonner nos mesures de contrôle dans la période post-tubage.

C'est pourquoi on se propose de réaliser une modélisation sous *G.M.S.* qui nous permet de connaître la forme globale de la réponse du système dans le temps (évolution de la piézométrie étalée dans le temps ? apparition d'un pic soudain ?) et d'estimer ce temps de réponse.

Attention, il est très important de noter les limites de la modélisation suivante : elle n'est réalisée qu'à des fins d'estimations et ne prend en compte que quelques paramètres hydrodynamiques de l'aquifère. Le modèle réalisé est tridimensionnel mais seule une couche est modélisée (craie) et contient des conditions limites qui ne sont basées que sur le peu

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

d'informations piézométriques disponibles sur les marais via les études réalisées sur le bassin Oise-Aronde. Elle ne peut en aucun cas constituer un outil de gestion à elle seule.

Précisons encore que l'on ne modélise que le nombre de puits indiqués dans le tableau de la figure 28 car on considère que si l'on tube l'ensemble des puits d'une zone et s'il y a résurgence, celle-ci se fera en premier lieu par une augmentation des débits des puits situés dans un très faible périmètre (quelques mètres).

Mode d'obtention du modèle :

Sous G.M.S., la carte I.G.N. des marais est importée et géoréférencée. Une zone légèrement plus étendue que les marais est maillée par des mailles de dimensions constantes (40 m de large selon les axes X et Y et 30 m selon l'axe Z). Les mailles des lignes et des colonnes à proximité du puits ayant le débit le plus important sont plus petites (40 m selon l'axe X, 20 selon l'axe Y et 30 selon l'axe Z).

Conditions limites/Paramètres du modèle :

Comme précité, on choisit de s'appuyer sur les cartes piézométriques de 2008 fournies par l'étude *Hydratec* (cf. Fig. 35) montrant une isopièze de 35 mètres au nord et de 31 mètres au sud. On impose donc ces valeurs aux deux séries de mailles des extrémités Nord et Sud. Elles permettront de maintenir une piézométrie constante en certains points de calcul de façon à ne pas dénoyer la nappe lors des situations de pompage. Les paramètres hydrodynamiques du modèle, également fournis par l'étude *Hydratec*, sont les suivants :

Perméabilité (craie fissurée) (en m/s)	10^{-3}	Transmissivité (en m^2/s)	10^{-4}
Coefficient d'emmagasinement	4.10^{-3}	Epaisseur de l'aquifère (fictive)	29 m

L'épaisseur de la nappe est imposée à 29 m pour respecter la condition de nappe captive, la piézométrie minimale étant de 31 m. (même si une option prévue est activée dans le logiciel pour que la nappe soit considérée comme telle).

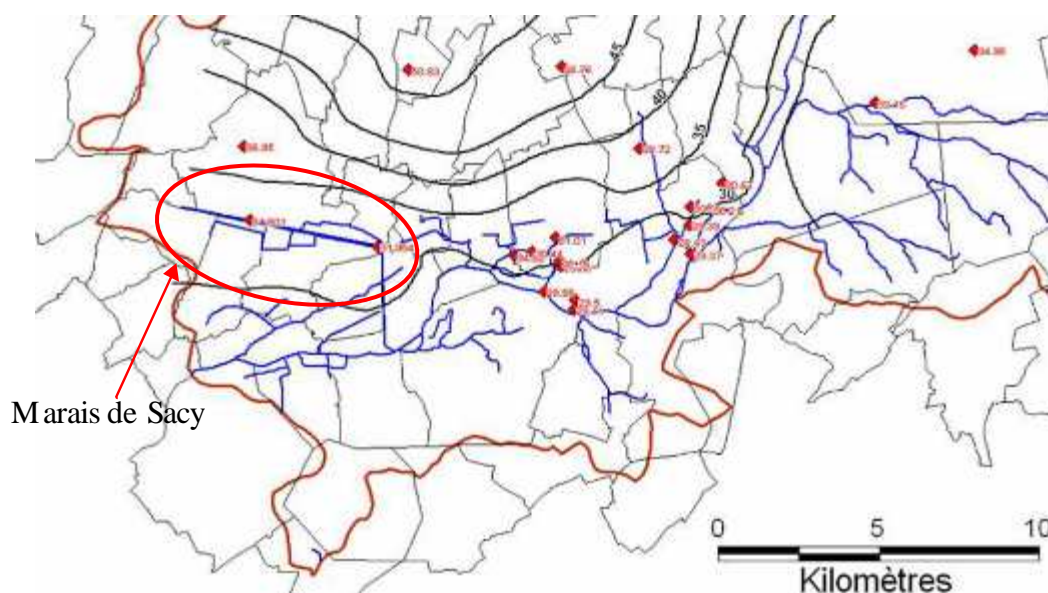


Figure 35 : Extrait de la carte piézométrique sur le bassin Oise-Aronde (2008, Source : Hydratec)

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

Obtention de la carte piézométrique initiale (avant calculs) :

Une interpolation mathématique est ensuite réalisée entre les deux lignes piézométriques (31 et 35 mètres) pour obtenir la carte piézométrique avant calculs, rendant compte de l'écoulement Nord-Sud de la nappe.

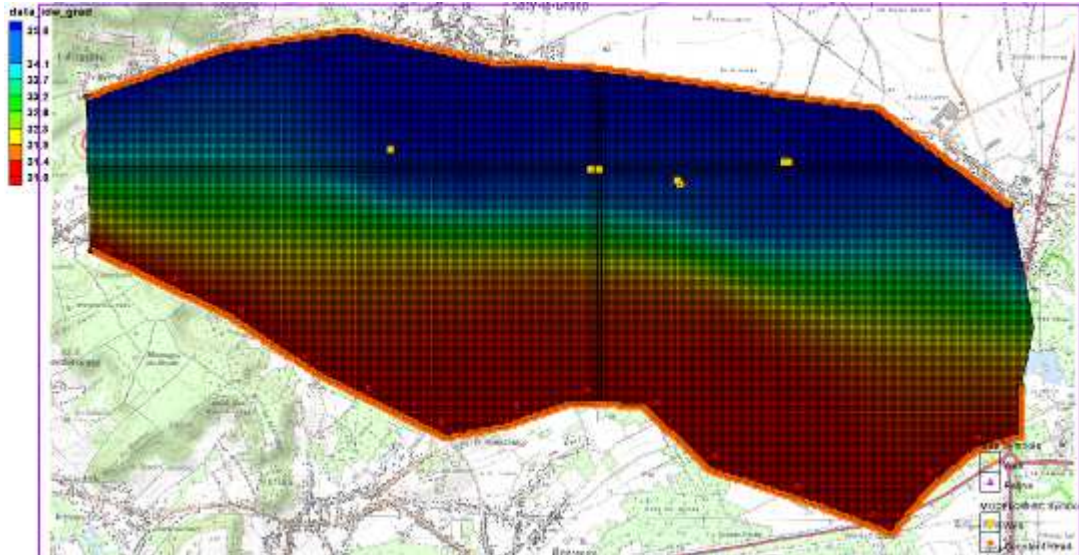


Figure 36 : Carte piézométrique initiale support de la modélisation sous G.M.S

Choix de la configuration modélisée :

Conformément aux zones et aux puits sélectionnés dans le paragraphe 3 et dans la figure 28, on modélise par des objets 11 puits (3 à E, 6 (2x3) chez Mr. J et 2 chez Mr. D) ayant des débits totaux pour chacune des zones, respectivement de 18, 23, 20 et 8 L/s. Ces valeurs sont ajustées en fonction des observations de terrain.

Ils sont localisés via la carte I.G.N. incluse dans la modélisation. On exécute alors *Modflow* en mode de calcul transitoire, sur 4 cas de figures dans lesquels on bouche à chaque fois une zone donnée et où les deux restantes sont en mode de pompage.

Forme générale des résultats :

La forme générale de la réponse est exponentielle croissante et ne montre pas de pics bruts. Pour un temps variable en fonction de la distance d'observation, le système évolue vers un état d'équilibre stable.

Par exemple, pour la configuration montrée en figures 37 et 38, où seule la zone « *J – La cuiller à Pot* » est tubée, si l'on place un piézomètre d'observation à une équidistance de 500 m entre les zones D et « *J – La cuiller à Pot* », on obtient le type de réponse ci-après :

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

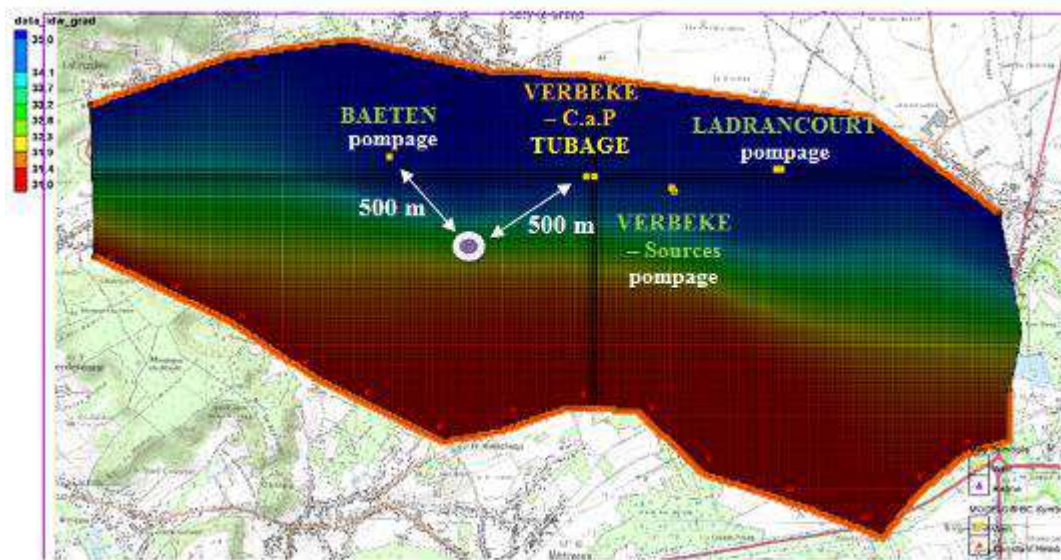


Figure 37 : Localisation du piézomètre par rapport aux stations modifiées

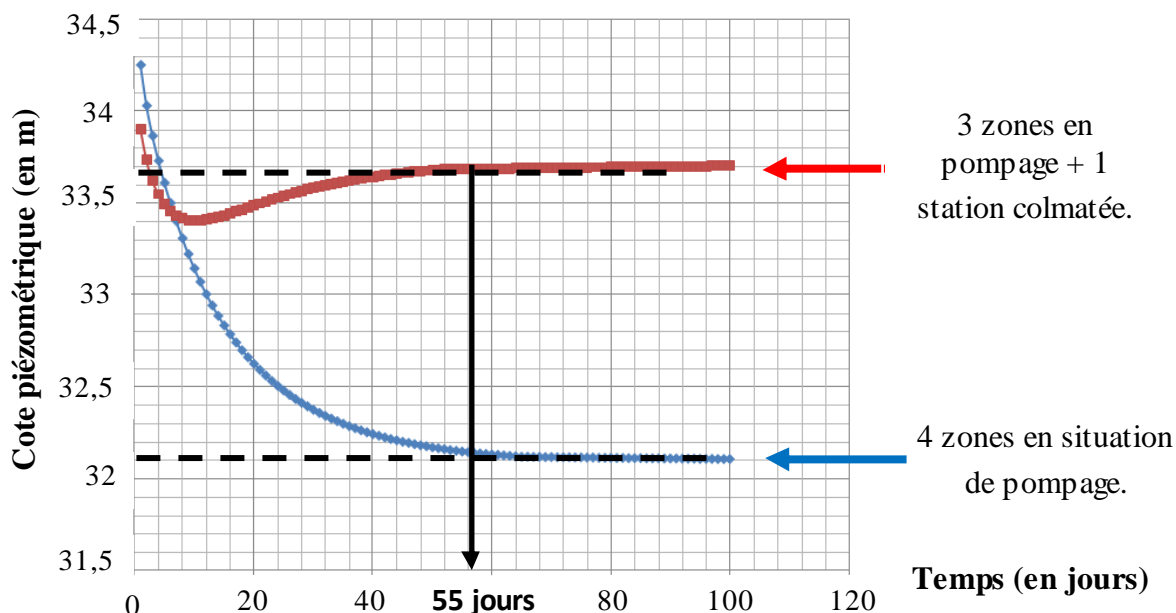


Figure 38 : Forme globale de la réponse du système suite à des phases de tubage

Des points d'observation positionnés à proximité des zones de puits montrent des temps de réponse beaucoup plus courts (de l'ordre de 7 à 14 jours). On se propose donc pour chacune des trois configurations détaillées ci-dessous de réaliser des cartes « *d'iso-temps de réponse* » afin d'évaluer l'impact du tubage sur la zone locale des puits et d'éventuellement de cibler les points locaux critiques (sources de E par exemple). Pour chaque cas, on conserve les mêmes débits que ceux précités. Dans le cas où certains puits artésiens sont bouchés, le débit de sortie équivalent est injecté dans la nappe.

Mode d'obtention de ses cartes :

On fait afficher via le logiciel l'évolution de la piézométrie en fonction du temps sur 100 jours avec un pas de temps de calcul de 1 jour (cf. Fig. 38). Pour identifier le pas de temps

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

recherché, dans un souci de précision, on privilégie une méthode de calcul à une simple lecture graphique. On récupère par le biais du logiciel la valeur du palier de la courbe et on en sélectionne la valeur correspondant aux 85%. Via le tableau des valeurs de la courbe, on en déduit le pas de temps correspondant. Enfin, on réalise cette méthode sur une vingtaine de cellules selon huit directions autour du puits (Nord, Sud, Est, Ouest, Nord-Est, Sud-Est, Nord-Ouest et Sud-Ouest). On obtient ainsi pour chacune de ces cellules, la valeur du pas de temps. Il suffit enfin de relier les cellules de mêmes valeurs.

- Cas n°1 : Seule la zone de E est bouchée :

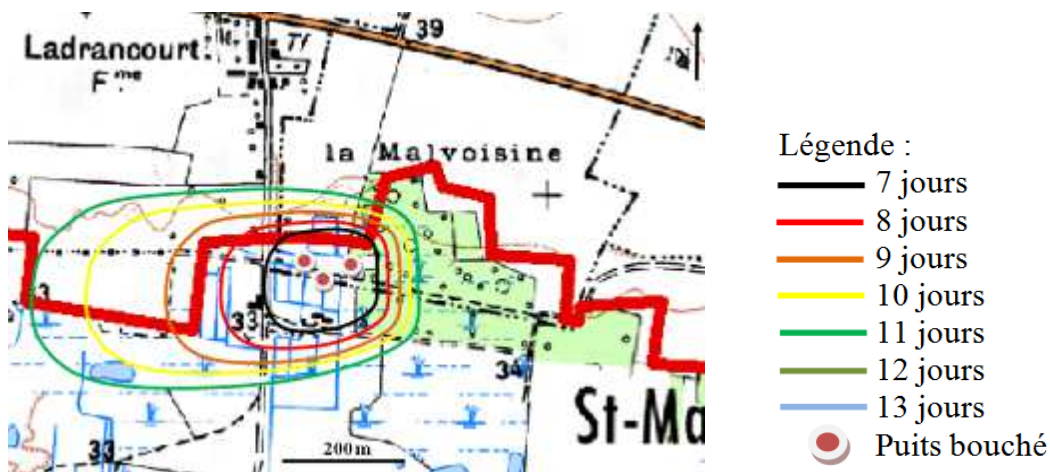


Figure 39 : Carte d'iso-temps de réponse pour la zone E

L'allure des courbes peut-être expliquée par l'influence du pompage de la zone « J – Les Sources » située à l'Ouest augmentant le temps nécessaire pour atteindre une piézométrie stable. Aucune perturbation n'est modélisée dans la partie Est où l'on atteint une stabilisation très rapide.

- Cas n°2 : Seule la zone « J – La Cuiller à Pot » est bouchée :

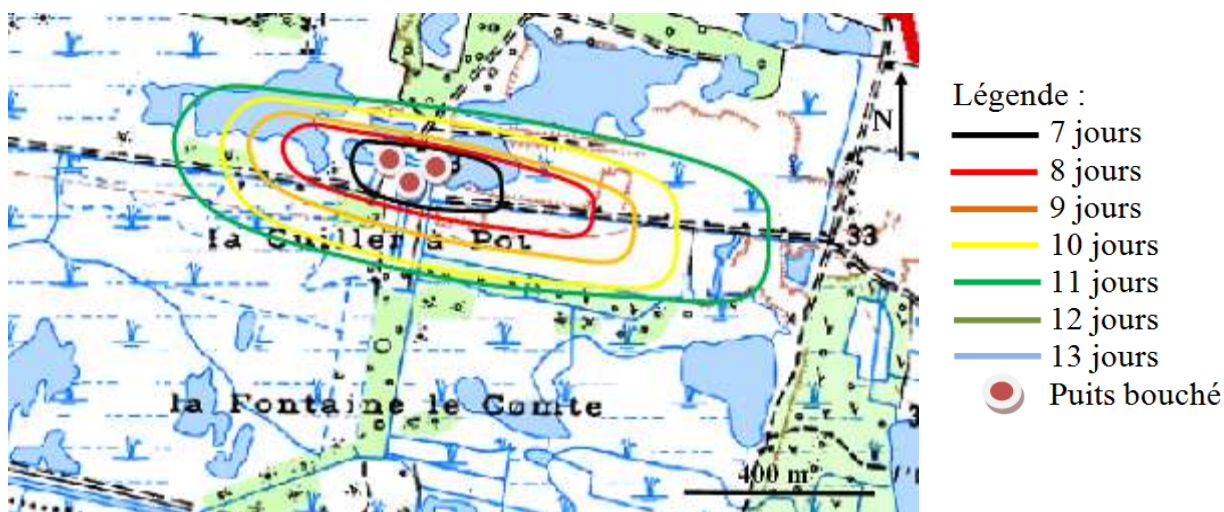


Figure 40 : Carte d'iso-temps de réponse pour la zone J

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

De même, on ressent l'influence de la perturbation de part et d'autre de la zone bouchée due aux deux stations de pompage. La perturbation à l'Est est plus significative car le débit total pompé dans la zone « *J – Les sources* » est plus important.

- Cas n°3 et 4 : Seule la zone « *J – Les Sources* » / « *D* » est bouchée :

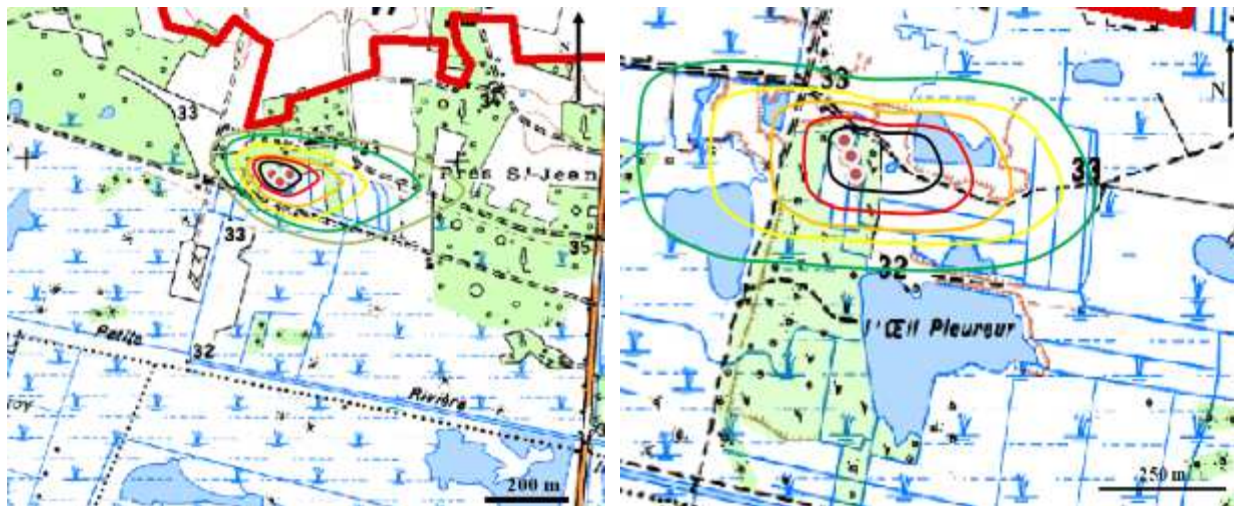


Figure 41 : Carte d'iso-temps de réponse pour les zones *D* (à gauche) et « *J – Les sources* » (à droite)

Pour la zone *D*, la perturbation est très sensible en raison du faible débit pompé dans cette zone et du fort débit prélevé dans la zone Ouest (« *Les Sources* »), ce qui explique un temps plus long pour atteindre la stabilisation du système à l'Est.

4.8.1.2.2. Mise en place des opérations

Avant la mise en route de tout processus de tubage :

- **Réaliser une série de mesures de débit sur les 10 sites de mesures de débits (cf. § 5.1.2) (série initiale « témoin » de données)**

On présente ci-dessous le protocole à appliquer **successivement** pour **chaque casier hydraulique** où l'on gère des puits (*E*, *J – « Les sources »*, *J – « La cuiller à Pot »* et « *D* »).

- **Réaliser une mesure de débit au sein du casier hydraulique concerné.**
- **Réaliser l'opération de tubage sur l'ensemble des puits de la zone (sauf ceux prévus comme devant être vannés).**
- **Vanner les puits indiqués sur la figure 28 (vanne fermée).**
- **Attendre 12 h pour que le système se mette à l'équilibre.**
- **Effectuer des mesures de débits à l'aval proche de la zone tubée tous les jours pendant 4 jours puis à deux jours et enfin à trois jours (période couverte d'environ 2 semaines au total) (jours 1, 2, 3, 4, 6, 8, 11 et 14).**
- **Si des résurgences apparaissent, moduler les degrés d'ouverture des vannes.**
- **Réaliser une mesure en sortie du casier hydraulique et des marais pour quantifier le gain réalisé dans chaque cas.**

Si les débits sont mesurés par un bureau d'étude, le temps de travail étant souvent compté à la demi-journée (du fait du déplacement d'une équipe), on peut éventuellement évaluer ou mesurer le débit, sur des points supplémentaires propres à chaque casier, jugés comme

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

potentiellement sensibles. (Par exemple, les sources de E, les débits à l'aval du casier des sources et de la cuillère à Pot, etc.)

Une fois tous les nouveaux processus de régulation mis en place, réaliser une série de mesure de débit sur l'ensemble des 10 points.

4.8.1.3. Exploitation des résultats de la phase de test

Une simple exploitation immédiate sous forme graphique des séries de données obtenues à l'issue de la mise en place des actions de gestion peuvent permettre de déterminer, comme précédemment évoqué :

- **La pertinence des choix effectués:**
 - o Le volume d'eau conservé dans chaque casier hydraulique après chaque action de gestion par comparaison des données initiales et des séries obtenues à l'issue de chaque action (évaluations des Q_i).
 - o Le volume d'eau conservé au sein des marais et/ou de la nappe à l'issue de chaque action de gestion par comparaison de deux séries de données successives à l'exutoire des marais.
- **La validité de la méthode :**
 - o Le volume d'eau gagné à l'issue de toute la phase de test par comparaison des séries initiales et finales.

Ce procédé permet d'obtenir rapidement une première évaluation quantitative du volume d'eau conservé dans la nappe, mais celui-ci ne pourra être validé qu'après la mise en place du système de suivi piézométrique.

4.8.2. *Impact sur la Frette*

Compte-tenu de la géométrie du réseau hydraulique et des sens d'écoulements majeurs, on peut envisager qu'une gestion mal orientée des eaux des marais contribue à une réduction trop importante des débits en aval des zones contenant des puits gérés. Il s'est donc posé le problème de définir une condition de débit seuil sur la Frette de façon à :

- assurer la survie des espèces y vivant,
- freiner au maximum l'envasement du cours d'eau,
- favoriser la dilution de certaines espèces chimiques.

Trois réflexions ont donc été envisagées :

- *Définir la valeur seuil selon des critères biologiques* (espèces de poissons vivant dans la Frette etc.), mais la diversité des espèces impose trop de conditions qui rendent cette méthode invalide.
- *Définir la valeur seuil selon des critères hydrauliques purs* : Il a été proposé de caractériser via des mesures limnimétriques et de débits, les différents cours d'eau par le biais d'une courbe de tarage. Cette méthode avait comme objectifs qu'avec un seul relevé (hauteur d'eau), de retrouver le débit correspondant, de connaître le comportement du cours d'eau sur le long terme, de définir la valeur voulue mais aussi de s'affranchir des relevés de débits.

Or, il a été observé sur quelques relevés d'échelles qu'une baisse de niveau d'eau n'était pas systématiquement synonyme d'une baisse de débit. En effet, par mesures au courantomètre, il a été mesuré des débits plus élevés, pour une hauteur d'eau plus faible, ce qui se traduit simplement par une augmentation de la vitesse du cours d'eau, ce qui est contraire à ce que prévoit une courbe classique de tarage (fonction croissante du débit en fonction de la hauteur d'eau).

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

- Il a également été envisagé de s'aider des critères de classification classiques des débits pour définir cette valeur seuil (débit maximum instantané, Q.M.N.A., V.C.n., etc.) ce qui nécessiterait un suivi beaucoup régulier qu'une mesure une fois tous les deux mois. (cf. § 5.1.3.)

On préconise donc, par défaut, une définition empirique du seuil critique par observations directes du cours d'eau, ce qui permettra également d'ajuster les vannages des puits artésiens gérés.

4.9. Caractérisation des paramètres hydrodynamiques de la nappe à l'aplomb des marais

Une utilité supplémentaire que peuvent avoir les puits artésiens est qu'ils permettent la détermination des caractéristiques hydrodynamiques principales de l'aquifère couramment utilisées pour caractériser les écoulements dans la nappe que sont T (la transmissivité) et S (le coefficient d'emmagasinement). Il a été démontré qu'une autre formulation du débit du puits que celle proposée en § 2.3.1. exprimée en fonction de T, peut s'écrire: $Q = 2 \pi T \Delta G(\tau)$ où Q est le débit du puits, T la transmissivité, Δ la différence de hauteur entre le niveau statique et le niveau d'écoulement libre et $G(\tau)$ est une fonction tabulée avec $\tau = \frac{r^2 S}{4 T t}$ où t est le temps de mesure et r, le rayon du puits.

N.B. : La courbe théorique $G(\tau)$ est donnée dans l'ouvrage : FORKASIEWICZ J., MARGAT J., PEAUDECERF P., *Essais sur les forages artésiens jaillissants et sur les sources*, B.R.G.M., Département géologie de l'aménagement/Division hydrogéologie, Août 1976.

Le calcul de ces deux paramètres consiste à reporter le débit observé en fonction du temps dans un graphique log-log et à superposer la courbe obtenue sur la courbe théorique en maintenant les axes bien parallèles entre eux. Une fois la coïncidence obtenue, on choisit arbitrairement un point sur la partie commune aux deux graphiques dont les doubles coordonnées sont donc, sur la courbe expérimentale, $y=Q_0$, $x=t_0$ et sur la courbe théorique, $y=G_0(\tau)$, $x=\tau_0$.

Les formules suivantes permettent d'en déduire T et S : $T = \frac{0.18 Q_0}{\Delta G_0(\tau_0)}$ et $S = \frac{r^2 c}{\tau_0 t_0}$

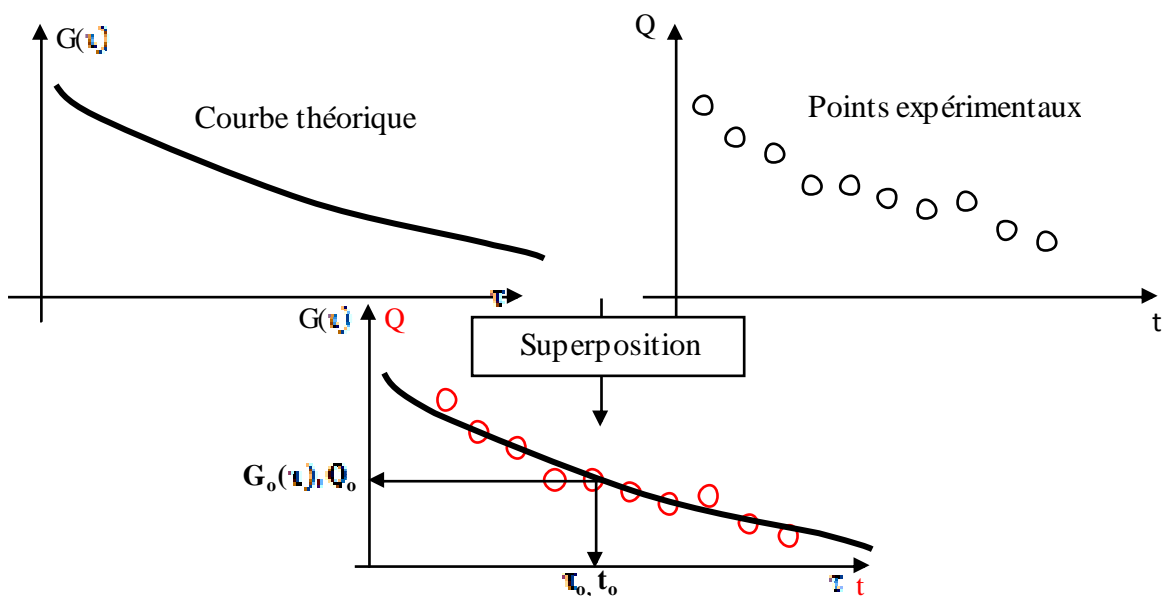


Figure 42 : Schématisation du traitement des données de débits pour déterminer T et S

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

Cette méthode, via un traitement graphique simple, permet de déterminer les paramètres voulus. Bien sûr, elle nécessite de mesurer le débit du puits, ce qui peut être plus ou moins délicat compte tenu des contextes hydrologiques superficiels variés observés (mares, fossés, etc.) mais il est toujours possible d'avoir recours à l'aide d'un tube pour canaliser l'eau si le puits est dans une mare ou encore attacher un réservoir (bassine graduée) au tube et mesurer le temps de remplissage d'un certain volume pour en déduire le débit. Si une portion de tube est utilisée pour canaliser l'eau, il est nécessaire de bien veiller à ce que la hauteur du tube mis en place soit constante au cours du temps afin de ne pas modifier le débit pendant les mesures.

5. CAMPAGNES D'ACQUISITIONS DE CHRONIQUES DE DONNEES SUR LES MARAIS

5.1. Mesure des débits et quantification du volume d'eau concerné par le tubage

5.1.1. Inventaire des mesures et données actuellement disponibles

La prise de conscience récente de l'utilité d'une gestion active des eaux des marais de Sacy a donné lieu à quelques mesures de débits qui ne sont que malheureusement éparées et ne permettent qu'un recul dans le temps de 8 mois comme le montre le tableau suivant :

Date	Canal Maure St Martin	Frette St Martin	E	Canal D	Fontaine froide	Hauteur Nappe (m)
10/01/2011	201.8	1035.0	199.9	--	--	37.42
07/03/2011	111.7	776.6	294.3	121.9	43.8	38.57
24/03/2011	--	--	149.3	--	--	38.41
09/05/2011	17.5	289.6	141.8	78.9	47.3	37.81
28/06/2011	10.9	168.6	133.8	15.5	15.5	37.04
16/08/2011	6.8	221.9	112.3	25.7	53.3	36.64

Figure 43 : Données de mesure de débits (en m³/h) et **piézométrique** (piézomètre de Sacy-le-Grand) disponibles au 24 juillet 2011

La figure 43 montre par comparaison des débits mesurés à E et au Canal Maure St Martin que, pour une évolution commune des niveaux piézométriques, les débits varient de façons très différentes. Une observation des valeurs extrêmes présentées par ces deux lieux de mesures montre une division des débits d'un facteur 2.6 sur une période de 8 mois à E, tandis que le second point de mesure a vu son débit diminuer d'un facteur 30.

On observe donc bien des besoins et des comportements hydrauliques différents selon les casiers du marais, ce qui suggère un contrôle et un suivi des eaux appliqué individuellement et non une gestion commune à l'ensemble du marais (action sur la Frette).

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy*5.1.2. Contexte de la phase de test*

Une phase de suivi des débits couvrant l'intégralité de la zone d'étude est donc envisagée. En fonction des critères listés ci-après, une série de 10 points de mesures est proposée, notés Q₀₁ à Q₁₀ dans le tableau fourni en figure 44 :

- Position stratégique du point en sortie d'un casier hydraulique du marais ou en aval direct en sortie du marais.
- Position du point relativement à une zone où l'on perturbe le système d'écoulement (bouchage de puits, implantation de batardeaux...).
- L'accessibilité du point de mesure.
- Une définition correcte du profil bathymétrique du cours d'eau (endroit dégagé, végétation peu encombrante...)
- Un envasement modéré. (Le cas échéant des moyens supplémentaires d'accès peuvent être mis en place (passerelle par exemple)).

Positions prévisionnelles des points de mesures de débits sur le Nord des marais de Sacy

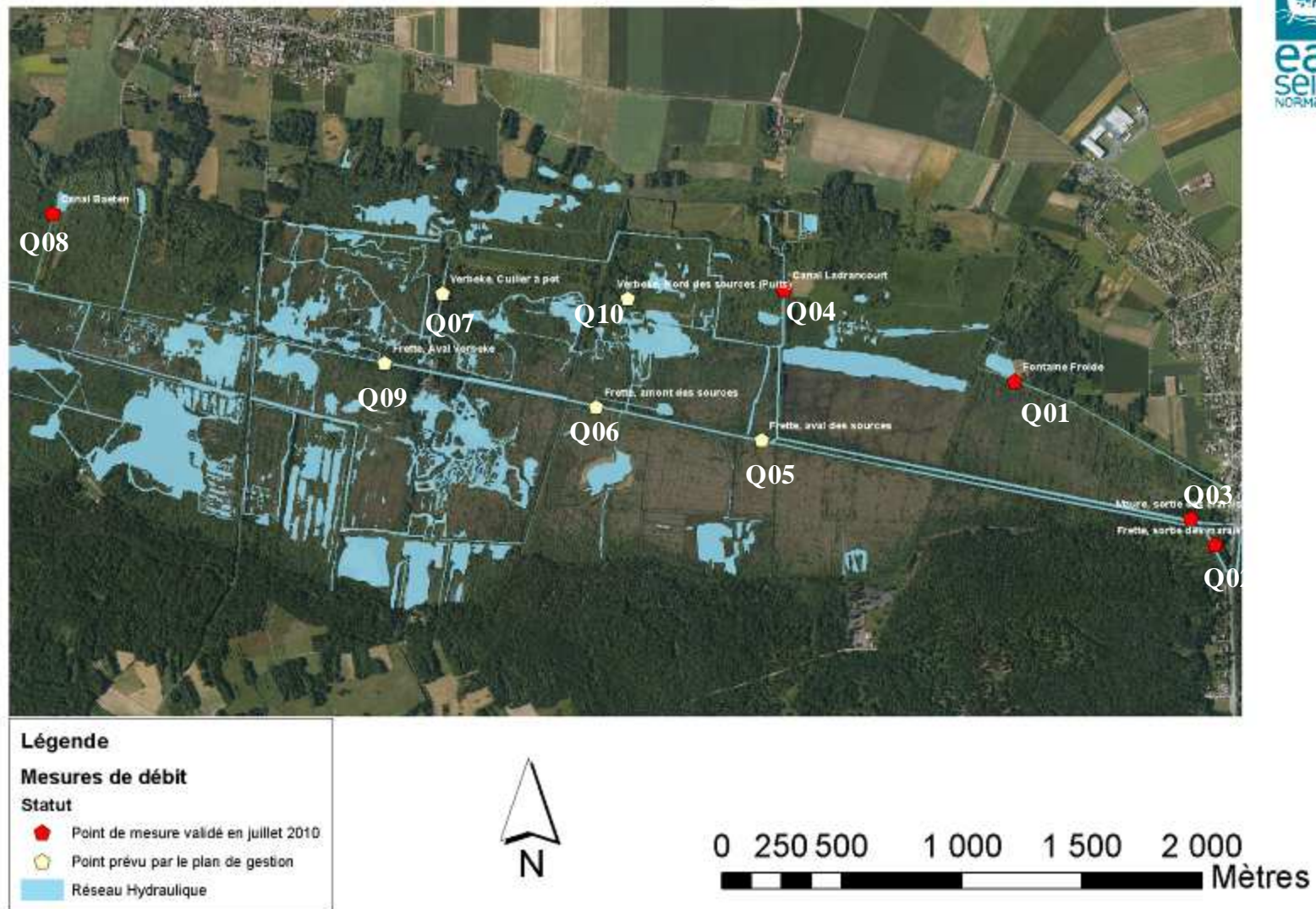


Figure 44 : Positions prévisionnelles des points de mesure de débits

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

Indice	(X,Y) (Lambert 93)	Localisation relative géographique	Accessibilité Définition du profil bathymétrique Envasement	Nécessité d'aménagements supplémentaires	Justification de la position du point de mesure
Q01	X= 670261 Y= 6915575	Point situé en amont du canal de la « Fontaine Froide », à la sortie de la mare de Mr. B.	Correcte (point déjà utilisé)	NON	Constitue un point de mesure en sortie du marais.
Q02	X= 671030 Y= 6914965	Point situé en aval du canal de la Frette, en sortie des marais.	Correcte (point déjà utilisé)	NON	
Q03	X= 671036 Y= 6914935	Point situé en aval du canal Maure en sortie des marais.	Correcte (point déjà utilisé)	NON	
Q04	X= 669288 Y= 6915927	Point situé an aval du canal de E, en amont de la mare de Mr. K.	Correcte (point déjà utilisé)	NON	Permet de quantifier l'effet de l'action sur les puits de E.
Q05	X= 669196 Y= 691532	Point situé sur la Frette, entre le fossé Est des sources et le canal de E.	A DEFINIR		Permet de quantifier l'effet de l'action de gestion par batardeau au niveau des Sources.
Q06	X= 668510 Y= 6915468	Point situé sur la Frette en amont du fossé ouest des Sources.	A DEFINIR		
Q07	X= 667795 Y= 6915878	Point situé en aval de la Cuiller à Pot.	Accessibilité très bonne depuis une vue satellite (proximité d'un large chemin), envasement à définir		Permet de quantifier l'effet de l'action sur les puits de Mr. J.
Q08	X= 666239 Y= 6916282	Point situé en sortie de la mare de Mr. D.	Correcte (point déjà utilisé)	NON	Permet de quantifier l'effet de l'action sur les puits de Mr. D.
Q09	X= 667623 Y= 6915641	Point situé sur la Frette, en aval du premier casier de Mr. J, avant la jonction entre « La Cuiller à Pot » et « La Frette »	Bonne, présence d'une chape en béton à proximité, jouant le rôle de passerelle	NON	Permet de quantifier l'apport des casiers amont (La bruyère, D) dans la Frette.
Q10	X= 668638 Y= 6915930	Point situé sur le fossé en aval direct de la zone de tubage des puits « J – Les sources »	Fossé peu large, parallèle à un chemin carrossable. Facilité d'accès L'envasement est à définir.	A Définir	Permet de quantifier le gain effectué par le tubage sur les puits des sources.

Figure 45 : Tableau de justification des points de mesures de débit

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

5.1.3. Protocole expérimental de suivi de débits

Il est proposé un suivi régulier à l'année des valeurs de débits aux points proposés précédemment avec une fréquence d'une fois tous les deux mois, à moduler éventuellement sur 5 jours à 1 semaine en fonction des conditions météorologiques.

Les données doivent être consignées de façon à renfermer le plus de données possibles lors de l'exploitation de celle-ci. On propose de relever lors d'une série de mesure les informations suivantes :

- Conditions météorologiques
- Appareillage utilisé
- Nombre de points mesurés sur un transect et leurs répartitions
- Tout autre élément qui pourrait influencer la valeur mesurée qu'il soit d'ordre naturel ou technique. (ex : bouchage ou débouchage d'un ou plusieurs puits en amont etc...)
- Les variations notables observées sur le profil bathymétrique (des variations trop importantes peuvent donner lieu à un curage des parois)

5.1.4. Exploitation des données

On se propose de consigner ces données sous forme d'une base de données *Microsoft Office Excel*®.

- La première série de données, grâce aux 4 mesures sur la Frette, peut donner lieu à l'élaboration d'un profil en long de la Frette de façon à quantifier la contribution de chaque casier hydraulique sur le débit de la Frette.
- Dès une durée d'acquisition des données de 8 à 10 mois, on propose de réaliser un traitement graphique des données pour obtenir des informations sur les corrélations entre chronique des débits dans le temps et les chroniques pluviométrique, piézométrique (momentanément, en attendant l'installation d'un piézomètre dans le marais) du type : débit = f(temps) VS. Précipitation=f(temps) et débit = f(temps) VS. Piézométrie=f(temps)

5.2. Suivi limnimétrique et climatique des marais

5.2.1. Les données disponibles en juillet 2011

- Une vingtaine de relevés limnimétriques sur la période septembre 2003 à juillet 2004 sur 7 échelles avec une fréquence de 1 à 3 relevés par mois (*Frette St Martin (échelle avale), Ageux (D200), Sarron, Cinqueux, Œil pleureur, Vieux Château, Frette RD 75*) dont seules quatre sont calées à la côte NGF (échelle difficilement lisible)
- Une vingtaine de relevés limnimétriques sur la période octobre 2010 à juillet 2011 sur 16 échelles avec une fréquence d'un à deux relevés par mois (*G, H, Œil Pleureur, Métro, Canal Maure E, Frette Aval, Frette St Martin, Frette RD75, Ageux, Monceaux, Vieux Château, Cinqueux plan d'eau, Hutte de Cinqueux, Rosoy, Fossé ceinture J, F*)
- Un relevé de température (1 à 2 fois par jour à 8h et 14h) et de pluviométrie sur cette même période.

Précisons qu'au moment de la rédaction de ce document, l'ensemble des données mesurées sur le terrain n'a pas pu être Bctée, ce qui explique que certaines séries ne soient pas complètes. Les problèmes majeurs :

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

- Ces données présentent de trop gros écarts entre deux valeurs successives pour suivre une réelle évolution des niveaux d'eau (*i.e.* combler les séries de données par méthodes statistiques est impossible) même si un tracé graphique permet une interpolation assez correcte entre les valeurs.
- Pour une même date, les relevés ne sont pas faits sur toutes les échelles.
- Seule une échelle est cotée N.G.F. ce qui interdit toute comparaison de niveaux entre deux échelles mais l'ensemble permet tout de même un suivi relatif des niveaux.

Ces données ne sont donc que très peu exploitables dans l'optique d'une compréhension plus approfondie du fonctionnement du système.

5.2.2. Le plan de suivi limnimétrique

Au 20 juillet 2011, un plan de suivi des niveaux a déjà partiellement été mis en place avec 16 échelles limnimétriques installées mais non nivelées et 12 autres à installer d'ici septembre 2011 (normalisation à la côte N.G.F. prévue ce même mois).

Une échelle limnimétrique se trouvant systématiquement à proximité d'un point de mesure de débit (cf. Fig. 44 et 46), certaines dates de relevés d'échelles limnimétriques pourront alors être prévues en corrélation avec les dates de mesures de débits de façon à pouvoir corréler hauteur et débit du cours d'eau.

Il est préconisé d'effectuer un relevé systématique sur l'ensemble des échelles toutes les semaines. L'acquisition des mesures est manuelle. Compte-tenu du nombre important d'échelles implantées sur les marais, les différents relevés seront répartis entre l'ingénieur technicien du syndicat des marais et les principaux propriétaires.

5.2.3. Les relevés climatiques

Suivi de température : Fréquence journalière (fréquence optimale de 2 fois par jour à 8h et 14h).

Suivi pluviométrique : Fréquence journalière.

L'acquisition des deux séries de données est manuelle et est réalisée par un employé des marais sur la parcelle de Rosoy.

5.3. Mise en place d'ouvrages hydrauliques de contrôle

5.3.1. Gestion par batardeau et vannes de certains casiers hydrauliques

Compte tenu du contexte, il est important de noter ici que l'on ne pourra envisager le contrôle des casiers par batardeaux qu'en vue d'une gestion pérenne des eaux. En d'autres termes, il est préférable d'éviter d'implanter ces ouvrages (ayant le plus souvent des coûts relativement élevés) en début de processus de gestion sans être sûr des résultats que l'on peut obtenir avec la gestion seule des puits artésiens.

Cependant, en plus des ouvrages déjà présents sur les marais, on en propose **trois supplémentaires** dont les choix de positions sont en relation directe avec la gestion des puits :

Bat-001 : J – Les sources :

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

- Implantation d'un batardeau en sortie de casier (au niveau de la connexion entre la mare « *Les sources* » avec la Frette). (cf. Fig. 47)

Bat-002 : J – La cuiller à Pot :

- Implantation d'un batardeau en sortie de casier (au niveau de la connexion entre l'exutoire de la mare « *Les grands flamands* » et la Frette). (cf. Fig. 47)

Bat-003 : D :

- Implantation d'un batardeau sur le fossé mettant en connexion la mare et la Frette. (cf. Fig. 47)

L'ensemble de ces trois propositions rejoignent un autre plan de gestion des marais par ouvrages hydrauliques, actuellement en cours d'élaboration et de rédaction. Il présentera une approche plus approfondie appliquée à chaque parcelle et prendra en compte des aspects de comblements de fossés notamment. Par exemple, ce plan prévoit le comblement naturel du fossé Est (cf. localisation du fossé sur le réseau hydraulique de l'annexe 8) du casier « *J – Les sources* », raison pour laquelle aucune implantation de batardeaux n'y est proposée ici.

Cependant, en fonction des décisions qui seront prises en accord avec le propriétaire (comblement ou non), on pourra envisager d'implanter un quatrième ouvrage en sortie de ce fossé, de façon à contrôler l'augmentation du niveau d'eau induite par la pose de **Bat-001**.

5.3.2. Suivi et contrôle du bon fonctionnement des ouvrages

Des observations sur le terrain ont montré quelques dysfonctionnements sur des batardeaux en place (cf. Fig. 48), comme par exemple :

- Des perforations de plusieurs centimètres de diamètre à proximité des batardeaux occasionnées par des ragondins, d'où des fuites significatives (par exemple, une vitesse de 4 cm/s pour un trou de 10 cm de diamètre occasionne une perte de 30 m³/j).
- Des batardeaux non étanches avec des niveaux d'eau similaires de part et d'autre de l'ouvrage.

On propose donc de mettre en place des visites régulières sur le terrain de façon à s'assurer du bon état des ouvrages.

1^{ère} phase : Phase de contrôle de tous les ouvrages déjà en place

Ces ouvrages n'ayant pas obligatoirement fait l'objet de contrôles minutieux à intervalles réguliers par leurs propriétaires, on préconise une première série de visite sur chacun des sites accompagnée éventuellement d'opérations de rénovation :

- Remplacement des vannes ou grilles présentant des signes de corrosion.
- Remplacement des glissières et des rainures.
- Graissage pour les vannes avec le produit approprié.
- Installation de nouveaux jeu de joints étanches.
- Contrôle de l'étanchéité latérale des batardeaux et des palplanches.

2^{ème} phase : Elaboration d'un programme d'entretien annuel afin d'assurer le fonctionnement continu des vannes et des batardeaux.

L'entretien annuel devrait intervenir à un moment clé dans l'année (par exemple, avant la période hivernale ou avant la période estivale), au moment où la majorité des ouvrages se devront d'être en bon état et pleinement opérationnels pour assurer une gestion correcte de l'eau.

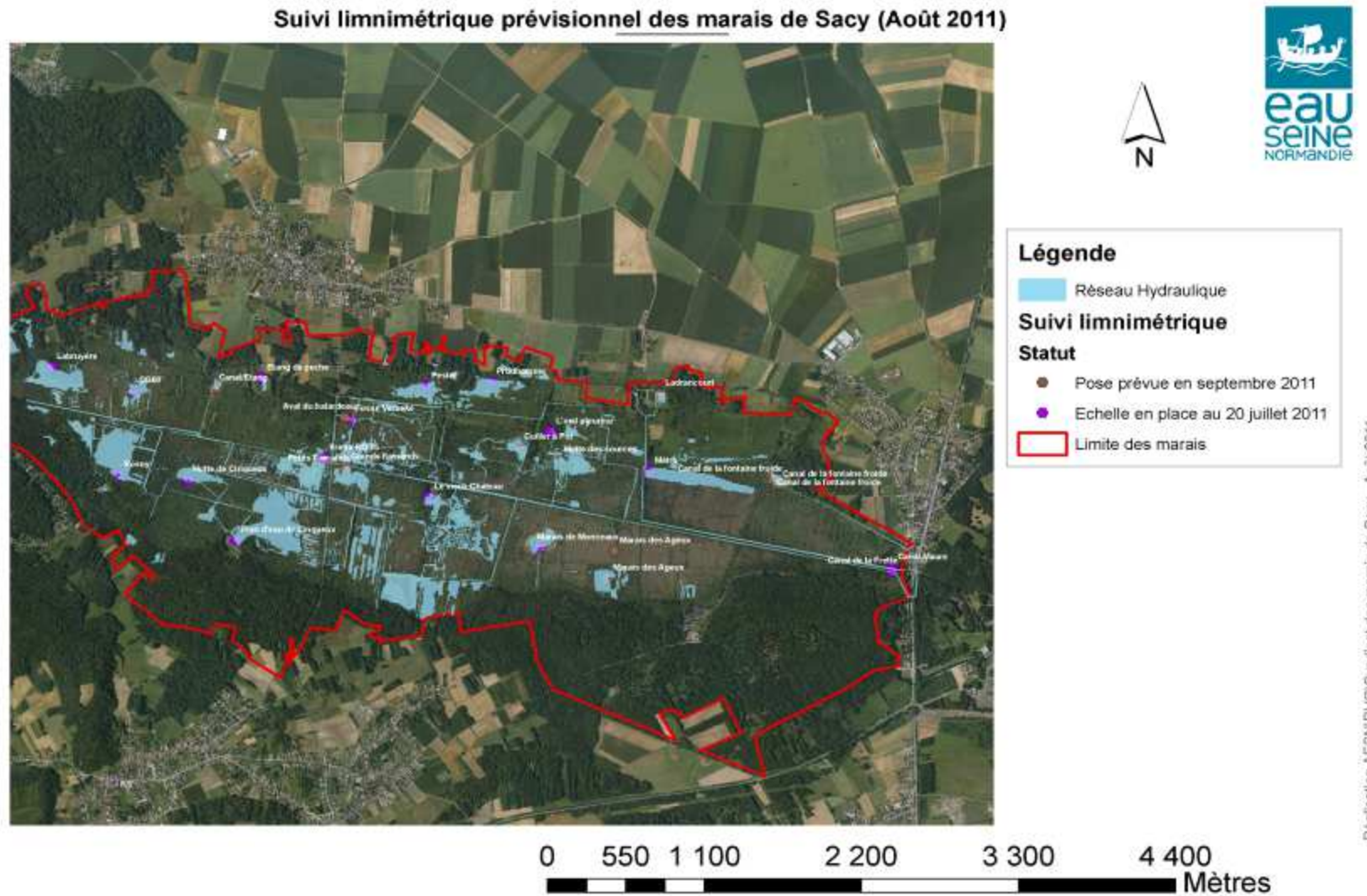


Figure 46 : Suivi limnimétrique prévisionnel des marais de Sacy (opérationnel en septembre 2011)

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

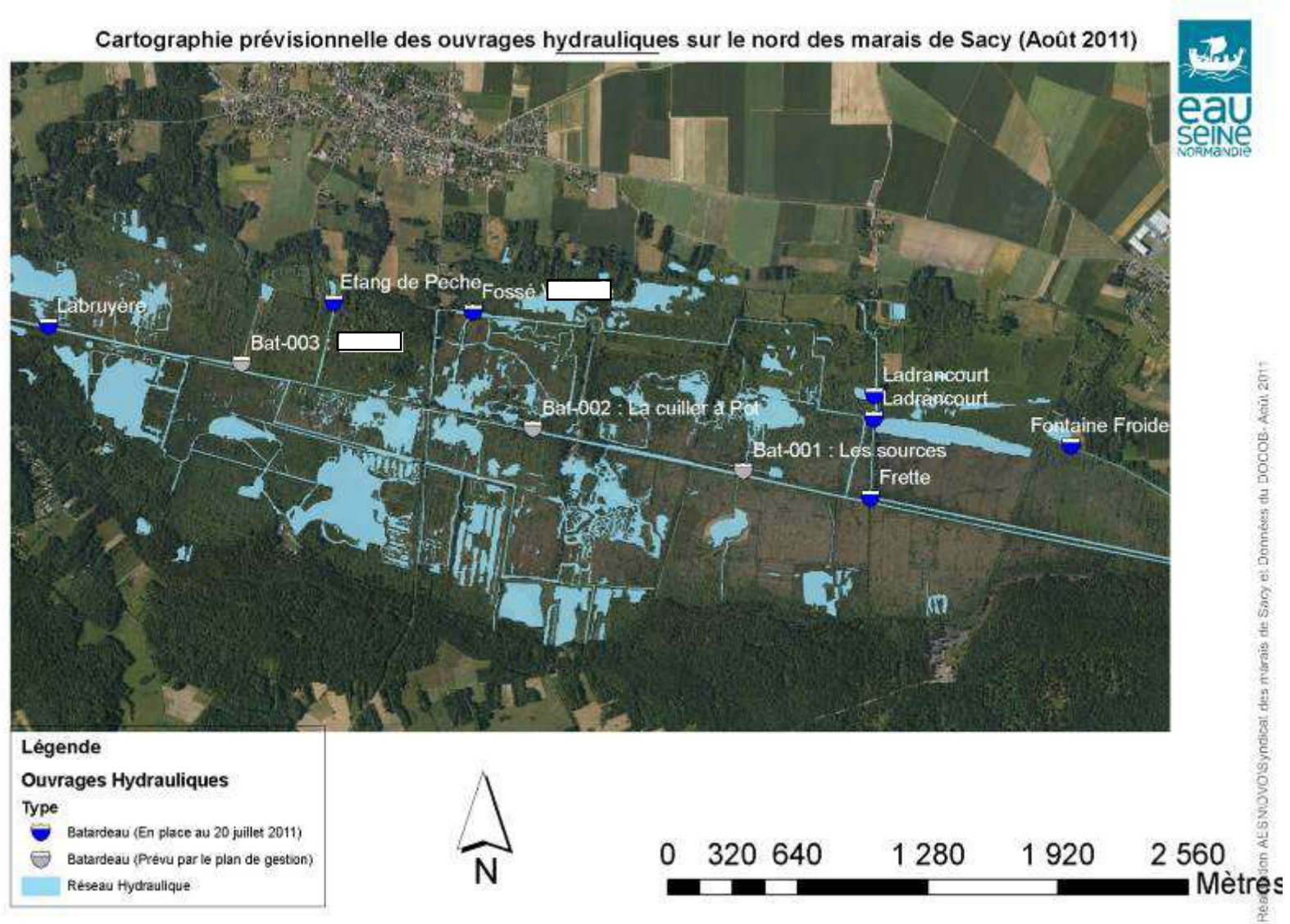


Figure 47 : Position des ouvrages hydrauliques de contrôles en place et prévus



Etat de fonctionnement des ouvrages hydrauliques en place

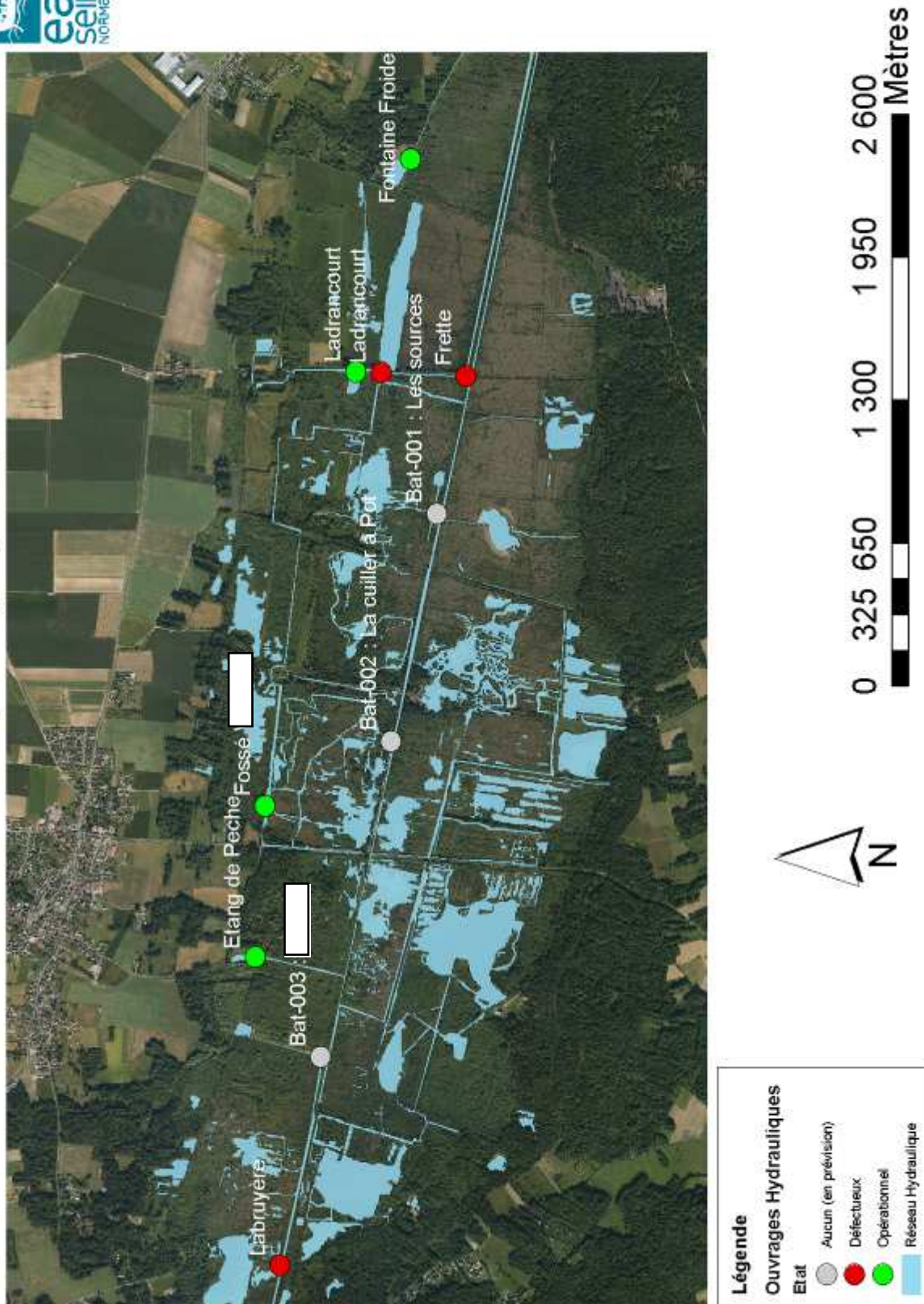


Figure 48 : Carte d'état de fonctionnement des ouvrages hydrauliques de contrôle

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy5.4. Suivi de l'E.T.P.

Les quantités d'eau de surface et du sol sont affectées par l'eau consommée par la végétation, laquelle peut être quantifiée par la mesure de l'E.T.P. (exprimée en mm d'eau/mois) via des méthodes de calculs à partir de diverses données météo (précipitation, température, vitesse du vent, hygrométrie) (formules semi-empiriques de Turc et Penman-Montheith, etc.). Ce suivi doit donc être effectué à la fin de chaque mois via les moyennes obtenues d'après ces données.

5.5. Suivi des chroniques de prélèvements – Influence du champ captant de Labruyère sur les marais

On préconise bien évidemment un suivi en parallèle des quantités de prélèvements dans la nappe par les différents points de pompage. Les informations disponibles montrent la présence de 13 sites de prélèvements (6 pour l'irrigation et 7 pour l'A.E.P.) à proximité directe de la partie Nord des marais. Concernant les marais de Sacy, les discussions entre irrigants, industriels et particuliers ont fixé un volume maximum prélevable de $1.56 \text{ hm}^3/\text{an}$ ainsi qu'une obligation de recharger la nappe via les marais à hauteur de $405\,000 \text{ m}^3/\text{an}$ soit $1110 \text{ m}^3/\text{j}$ à partir de 2016, sous réserve de la fermeture de certains puits artésiens. Précisons que cette valeur seuil n'est pas le résultat d'une étude particulière mais a simplement été décidée suite à des discussions entre les différents intervenants.

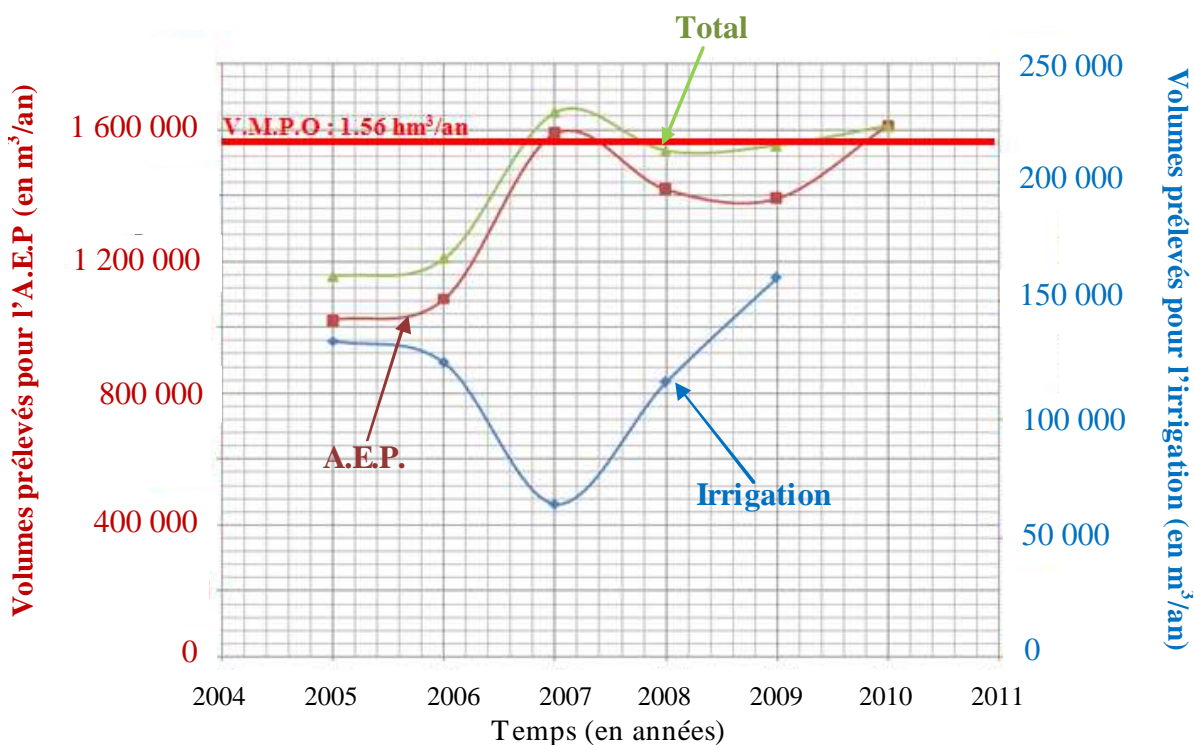


Figure 49 : Graphique de l'évolution des prélèvements en m³/an en fonction du temps (AEP, Irrigation et Total)

Ces données devront être comparées avec l'évolution de la piézométrie car les études ont également montré une très forte sensibilité piézométrique de la nappe sous les marais suite aux pompages du champ captant (zone Est évaluée à moyenne, zone Ouest à très forte comme le montre la carte de la figure 51).

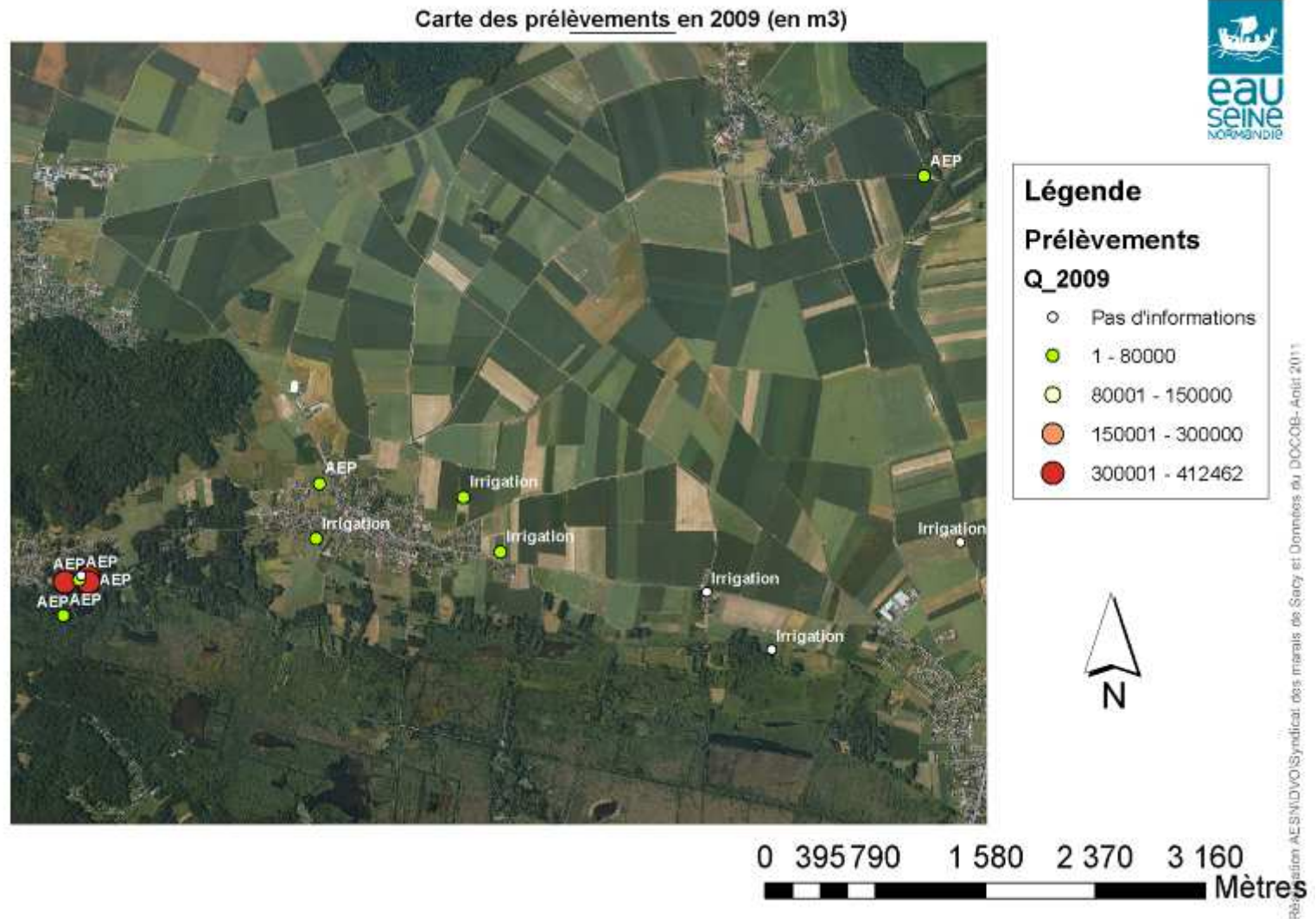


Figure 50 : Carte des prélèvements AEP/Irrigation sur le bord des marais de Sacy

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

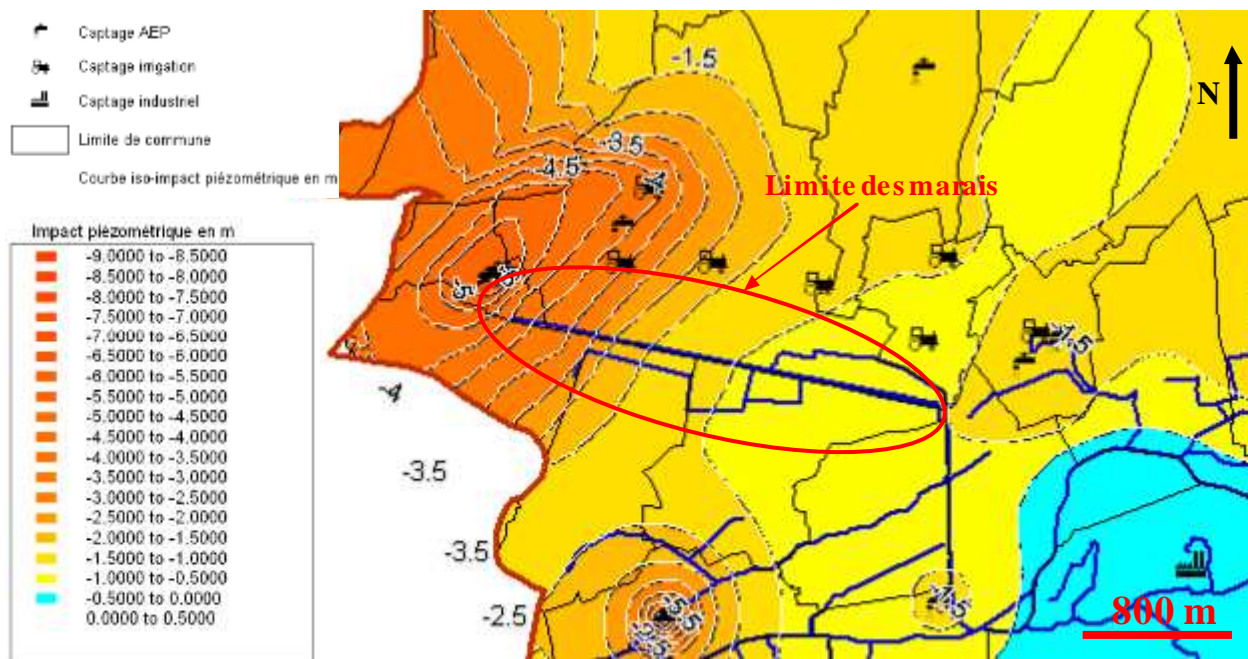


Figure 51 : Carte de sensibilité de la nappe de la craie aux prélèvements

Une absence de lien entre les étiages sévères récemment observés (évolution des niveaux d'eau de surface des marais) et le champ captant a été démontrée par l'étude portant sur ce dernier : « *Les mesures enregistrées en continu sur les marais et sur les points de contrôle de la nappe indiquent une indépendance des niveaux des marais vis-vis du niveau dans la craie.* »

On pourra tout de même s'en assurer sur le long terme avec comparaison des données piézométriques, limnimétriques et des chroniques de prélèvements.

5.6. Suivi piézométrique des eaux profondes

5.6.1. Etat actuel du suivi piézométrique des eaux profondes des marais

L'unique piézomètre à proximité des marais est actuellement localisé à Sacy-le-Grand (cf. Fig. 56), au niveau de « *La Briqueterie* ». Il est opérationnel depuis mars 1968 et présente une piézométrie moyenne sur la période 1968-2008 de 37 m N.G.F..

Il est situé dans la partie libre de la nappe en amont de la transition nappe libre/captive. De ce fait, il n'occupe pas une position optimale pour évaluer les fluctuations de la nappe à l'aplomb des marais.

Type d'ouvrage, profondeur et altitude	Puits (15 mètres), 52 m <u>NGF</u>
Coordonnées Lambert 93	X=666896 m ; Y=6918085 m
Numéro BSS	010450015/S1

Figure 52 : Caractéristiques du piézomètre de Sacy-le-Grand

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

L'objectif de la mise en place d'un suivi piézométrique continu sous le marais est, à terme, de pouvoir identifier des relations entre évolutions des eaux de surfaces et des eaux profondes. Nous proposons donc des positions potentielles de piézomètres pouvant apporter des informations sur ces relations ainsi que sur la souffrance des marais.

5.6.2. Inventaire actuel des données à disposition

On répertorie ici les données piézométriques fournies par les différentes études réalisées sur le fonctionnement de la nappe de la Craie ainsi que sur les marais de Sacy. Elles seront, entre autres, utilisées dans la détermination des positions de piézomètres.

Données d'études :

- *Evolution comparative Piézomètre de Sacy/Niveau d'eau sur les marais*, Etude BAC du Liancourtois, p 9 et 10 et 13.

Piézométrie :

- *Carte piézométrique sur le bassin versant Oise-Aronde en 2001, 2005 et 2008*. Etude Hydratec, Rapport de Phase 1 via le rapport BRGM/RP 51150 FR, p 19, 21 & 23.
- *Graphique du suivi piézométrique à Sacy-le-Grand de 1968 à 2008*, Etude Hydratec, Rapport de phase 1, p25.

Données de suivi de surface :

- *Suivi des cotes de plans d'eau sur la période juin 1998- août 1999*, Etude Hydratec, Rapport de phase 1, p27.
- *Suivi de la cote du plan d'eau au niveau du marais Rosoy*, Etude Hydratec, Rapport de phase 1, p28.
- *Suivi des niveaux d'eau sur les marais (période juin 1998, janvier 1999)*, Etude Stucky, Fonctionnement hydraulique des marais de Sacy, partie 1 - Etude diagnostique - rapport préliminaire (Hydrogéologie, hydrologie et hydraulique - Usages, Chapitre 2, p30.
- *Données de corrélations des niveaux d'eau entre les marais*, Etude BAC du Liancourtois, p 11.

Données du Syndicat :

- *Relevés limnimétriques au niveau de trois échelles (Rosoy, CG60 et H) de Septembre 2008 à Février 2010* avec un relevé toutes les heures (Source : Communauté des communes du Liancourtois)
- *Relevés piézométriques ponctuels à Sacy-le-Grand effectués lors de campagnes de relevés limnimétriques par le Syndicat* sur la période Septembre 2003/Juillet 2004.

5.6.3. Le manque de données relatives à la géologie

Les données relatives à la géologie sur les marais sont très ponctuelles et éparses. L'étude de cartes et la réalisation de coupes permettent de déterminer uniquement la série géologique. Elles n'apportent pas de précisions sur les épaisseurs des formations (notamment celles concernées par l'implantation d'un piézomètre à savoir : la formation tourbeuse, les argiles Sparnaciennes) ni sur leurs extensions (limite latérale des argiles par exemple).

Les seules données sont appréciables par les forages réalisés uniquement sur le contour des marais comme le montre la carte suivante (également fournie en annexe 5) qui révèle l'incertitude sur la limite Nord-Sud des argiles et donc sur la limite entre nappe libre et nappe captive.

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

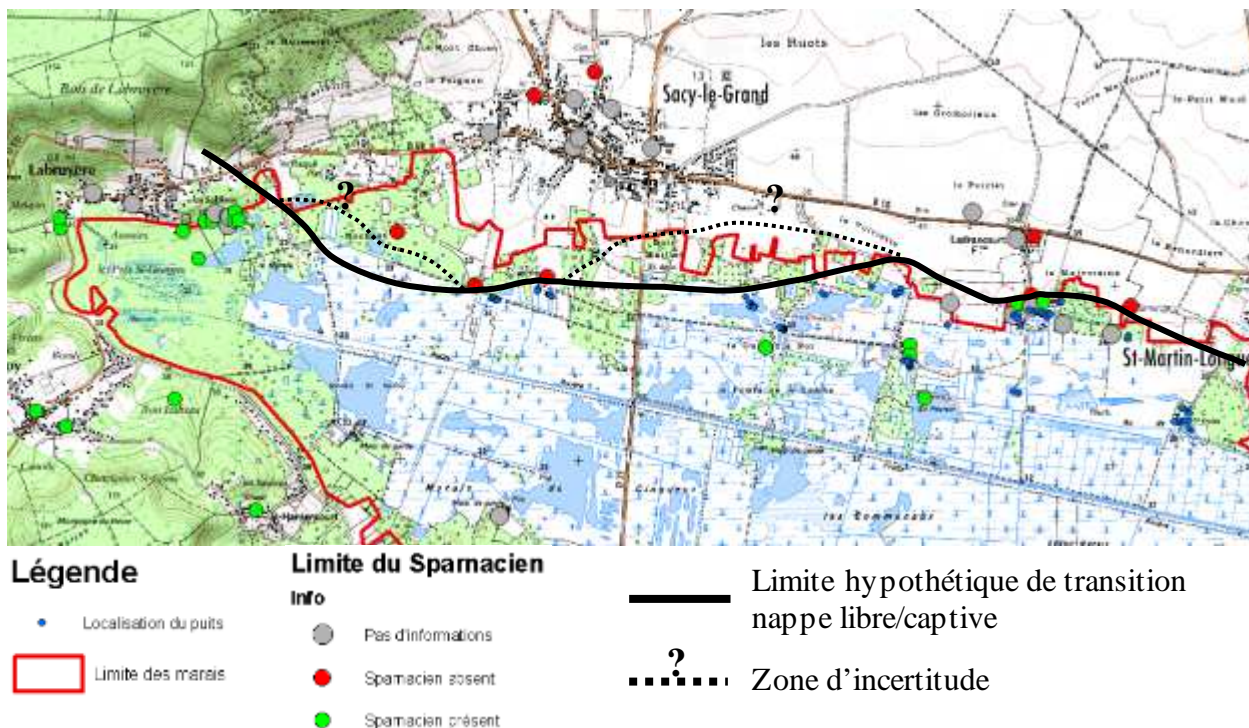


Figure 53 : Carte montrant l'incertitude sur la limite nappe libre/captive réalisée via les données de forage

On peut penser qu'il est probable que les résurgences observées lors de la phase expérimentale soient entre autres directement induites par le tubage des puits (la pression de la nappe est alors rendue suffisante pour perforer la fine couche d'argile présente en bordure des marais. (cf. Fig. 2)

D'autres éléments viennent complexifier le problème de définition latérale de la transition entre zone libre et zone captive. Des lectures bibliographiques (TOURNEBIZE J., MICHELIN J., *Les zones humides comme aménagement tampon pour la rétention des contaminants : exemples d'une ancienne cressonnière, d'une tourbière et d'un bassin de stockage d'eau pour l'irrigation*, PIREN-Seine, Phase V – Rapport de synthèse 2007-2010) ont pu montrer que, dans des contextes géologiques similaires où la nappe de la craie est en contact direct avec la tourbe (zone considérée jusqu'alors comme zone de nappe libre dans notre cas), il existe bien deux nappes différenciées. L'étude montre que la nappe de la craie peut se mettre en charge sous la tourbe, les niveaux tourbeux profonds étant très peu perméables, sans la présence d'un toit argileux. Cette donnée rajoute donc une incertitude quant à la position de la limite Nord.

L'étude indique aussi qu'à l'inverse, lorsque la nappe de la craie n'est plus en charge en été, ses niveaux d'eau baissent, mais les niveaux d'eau dans la tourbe baissent moins et sont maintenus par un seuil en aval. Précisons donc enfin, que cette information n'est pas négligeable quant à la méthode employée de suivi des eaux profondes.

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

5.6.4. Les objectifs du suivi piézométrique

Les objectifs de la mise en place d'un suivi piézométrique continu sur la partie captive de la nappe sont multiples :

- acquérir une meilleure connaissance du fonctionnement de l'aquifère par des enregistrements continus des niveaux, associés aux relevés limnimétriques, pluviométriques et piézométriques déjà en place (piézomètre de Sacy),
- suivre l'évolution annuelle et interannuelle du niveau général de la nappe (création de cartes piézométriques),
- fournir des informations concrètes et fiables aux usagers (Bctivités distributrices d'eau potable (champ captant de Labruyère) sur l'état de la ressource souterraine, notamment en période de sécheresse,
- constituer des chroniques de données continues pour déterminer sur une longue période des paramètres caractéristiques des aquifères,
- détecter d'éventuels signes de surexploitation ou déterminer quelles actions prioritaires sont à privilégier.

On se propose de mettre en place deux réseaux de piézomètres :

- Une série de 6 piézomètres *s.s.* dont 3 mesurent le niveau de la nappe de la Craie et 3 autres évaluant le niveau d'eau dans la tourbe dans le but de pouvoir établir des corrélations entre les deux et de mieux connaître le rôle de la tourbe (présence d'une circulation d'eau ? rôle purement statique dont le niveau est dicté par les conditions climatiques ?)
- Une série de 5 piézomètres qui ne seront autres que des puits artésiens actifs tubés. Ceux-ci permettront de compléter les données et de « couvrir » d'une façon plus complète le terrain tout en gardant l'assurance de valeurs fiables données par les piézomètres forés.

Un avantage supplémentaire de créer de nouveaux piézomètres est d'acquérir les coupes géologiques et techniques sur certains endroits des marais.

5.6.5. Propositions d'implantation des piézomètres

Compte tenu de l'importance qu'a la géologie dans l'implantation des piézomètres et étant donné que les données sont très limitées, on se propose de procéder selon les deux cas suivants, de les détailler et de les justifier :

- **1^{ère} méthode : Déterminer le nombre et la position des piézomètres en fonction des données disponibles, effectuer un forage et implanter le ou les piézomètres.**
- **2^{ème} méthode : Réaliser des campagnes de prospection supplémentaires pour compléter la connaissance géologique des marais et, en relation avec les données des études, implanter le ou les piézomètres.**

5.6.5.1. 1^{ère} méthode : Etude des données et implantation des instruments de mesures

Si les résultats d'interpolations de l'étude de modélisation de la nappe indiquaient les marais de Sacy comme étant sus-jacents à une nappe complètement captive, il semblerait que la zone libre s'étende, d'après analyse des forages, jusqu'en extrême bordure Nord des marais (zone des puits de E).

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

L'écoulement global Nord-Sud de la nappe pousse la réflexion dans le sens où il serait pratique de « balayer » un maximum de distance en direction Nord-Sud dans l'objectif de créer des cartes piézométriques.

On se propose ci-après de justifier les zones des piézomètres sélectionnés :

Code du piézomètre	Coordonnées Lambert 93	Propriétaire de la parcelle	Éléments de localisation
Pz-Cr1	X=669879 Y=6916157	C	Puits C-01 servant de piézomètre
Pz-To1	X=669809 Y=6916142	C	A proximité du puits C-01
Pz-Cr2	X=667178 Y=6916055	Mr. J	Proximité des échelles limnimétriques « Fossé J » et « Aval du batardeau » (Cf. Fig. 46)
Pz-To2	X=667140 Y=6915969	Mr. J	A proximité de Pz-Cr2
Pz-Cr3	X=665677 Y=6916276	C	Proximité de l'échelle « CG60 » (Cf. Fig. 46)
Pz-To3	X= 665700 Y=6916402	C	A proximité de Pz-Cr3

Figure 54 : Caractéristiques des trois piézomètres sélectionnés

Pz-Cr1 & Pz-To1 : C/E

Cette position est actuellement occupée par le puits artésien C-01 sur une parcelle du C. Hormis le fait que la parcelle appartienne au C.G. soit un point positif (facilité du Syndicat des marais à travailler avec plutôt qu'avec un propriétaire particulier), le point de mesure (si on choisit un mode de relevé manuel) est facilement accessible (5 à 10 min en voiture). Il est également éloigné de la zone de E sur laquelle il est prévu de mener une action de tubage des puits, pour éviter toute perturbation éventuelle du niveau piézométrique.

Ce puits est creusé à 14 m et l'on y connaît l'épaisseur de tourbe qui est de 4 m. Selon la figure 53, ce puits se situerait à la limite entre zone libre et captive, ce qui pourrait constituer un point de suivi intéressant pour déterminer si une observation notable est à faire au niveau de cette limite qui ne fait l'objet, même à proximité d'aucune mesure de contrôle.

Le seul inconvénient est qu'il n'existe pas de point d'eau de surface permettant le double relevé simultané eaux de surface et profondes.

Pz-Cr2 & Pz-To2: Zone J – Proche de la RD75

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

Cette zone se situe au centre de la zone nord, là où la nappe est captive (zone éloignée de la limite). L'accessibilité y est bonne (proximité de la route départementale). Dans le cas où le relevé est non automatique, ce dernier peut-être assuré par le garde de la propriété présent à plein temps. L'écoulement de la nappe se faisant en direction Nord-Sud, il permettrait un suivi à « l'aplomb » du piézomètre de Sacy-le-Grand.

La proximité d'une mare munie d'une échelle limnimétrique fournira des informations simultanées des niveaux d'eau de surface. De même que pour le piézomètre *Pz-001*, il n'est pas à proximité d'une zone de puits artésiens gérés.

Pz-Cr3 & Pz-To3: CG60

Sa position couvre la partie Ouest des marais dont l'extrémité ouest est sous influence du champ captant de Labruyère. Ses arguments de positions (relatif au propriétaire de la parcelle) rejoignent celles évoquées pour l'instrument *Pz-001*.

De même que pour *Pz-002*, une mare proche munie d'une échelle limnimétrique (installée en septembre 2011) permettra le double relevé.

Il est prévu de mettre en relation les données piézométriques et l'état du milieu biologique. C'est la raison pour laquelle, afin d'évaluer les liens entre variation de la nappe et état du milieu, il serait intéressant de positionner un piézomètre sur cette parcelle où certaines observations intéressantes ont été effectuées par le C, à savoir :

- La présence d'espèces floristiques protégées (Orchidée *Dactylorhiza praetermissa*), d'habitats d'intérêt communautaires tels que les cladaies, molinies et tourbières de transition répertoriés dans un état de conservation qualifié de « moyen ».
- Des zones à fort ou très fort enjeux phytoécologiques.

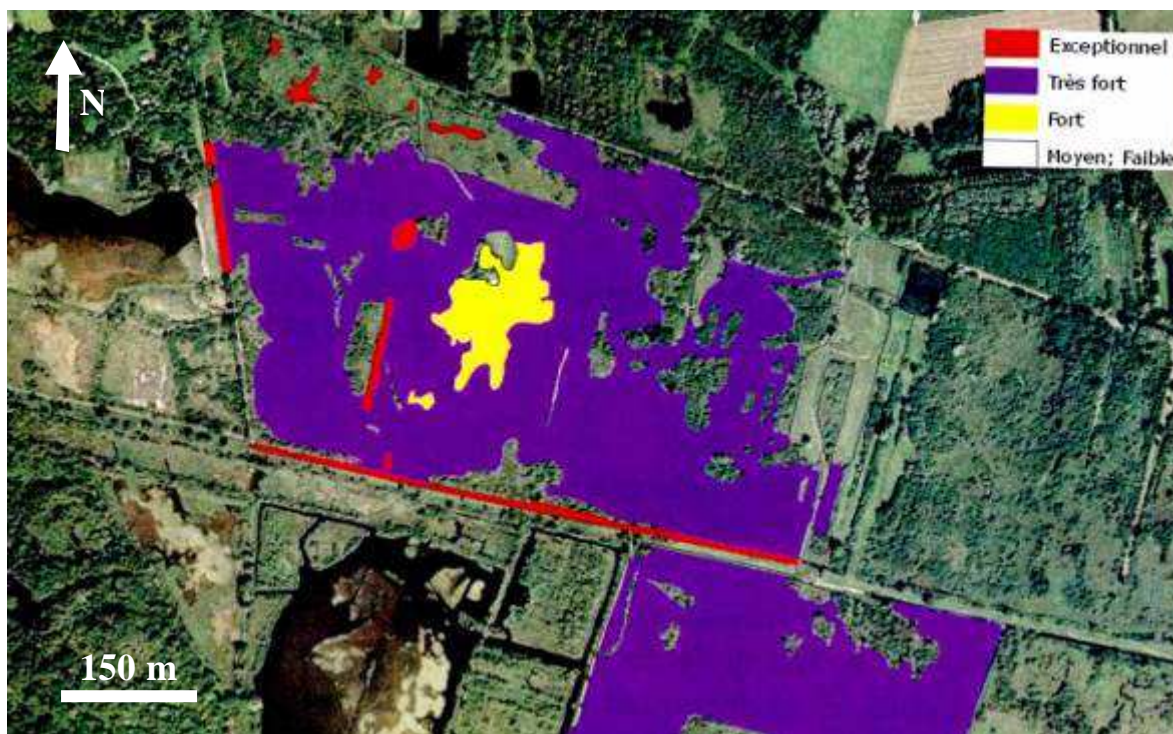


Figure 55 : Enjeux phytoécologiques de la partie Ouest des marais (parcelle de Pz-003)

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

On peut mentionner ici que le nombre de trois couples de piézomètres paraît être le nombre minimum nécessaire de points d'acquisitions de données pour obtenir un suivi cartographique des eaux profondes correct.

Cependant, selon le bilan financier du plan de gestion proposé en paragraphe § 6.1, et les moyens à disposition, il sera bien entendu possible d'augmenter ce nombre pour affiner les données et donc, à fortiori les cartes.

Sélection des puits servant de piézomètres :

Les puits suivants sont sélectionnés en fonction de leur activité et de leur position : on choisit préférentiellement des puits présentant des débits significatifs situés dans les zones éloignées de celles où les 3 groupes de « vrais » piézomètres sont implantés.

On rappelle ici que ceux-ci nécessitent que la partie sommitale des tubes soit cotée à la norme N.G.F.

Code du puits	Coordonnées Lambert 93	Propriétaire de la parcelle	Éléments de localisation
B-01	X=670204 Y=6915619	Mr. B	Dans la mare « Fontaine Froide »
J-01	X=668634 Y=6915984	Mr. J	Puits situé dans le fossé contenant les puits J-01 à J-10
J-11	X=667924 Y=6916197	Mr. J	Puits situé dans le fossé de la « cuiller à Pot »
E-23	X=669424 Y=6916284	C	Mare privée

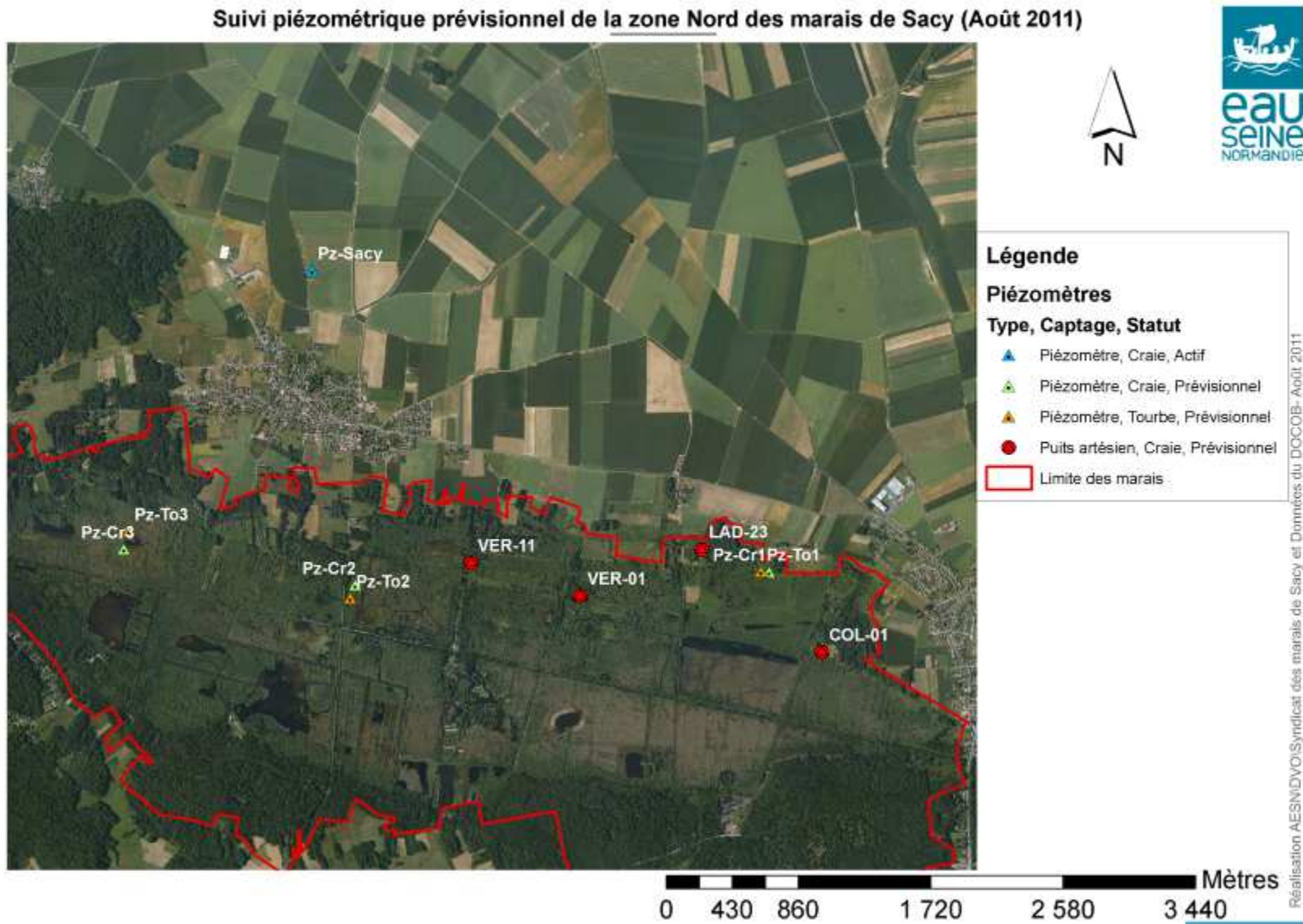


Figure 56 : Carte de localisation prévisionnelle de trois piézomètres sur le nord des marais

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

5.6.5.2. 2^{ème} méthode : Amélioration de la connaissance géologique du site et implantation des instruments de mesures

On peut envisager une étape préliminaire essentielle à l'implantation des piézomètres qui permettrait d'enrichir la connaissance géologique de la zone humide : une campagne de prospection géophysique qui à terme va permettre de :

- définir le profil de la cuvette tourbeuse au sein des marais et donc d'en connaître l'épaisseur à un point donné,
- caractériser la fracturation de la craie et donner des informations sur son rôle dans les échanges entre zone humide et nappe,
- intégrer les données Bctées dans un procédé de modélisation du fonctionnement dynamique des relations entre nappe et zone humide.

Principe de la méthode, équipement et type de résultats obtenus :

On propose ici d'avoir recours à une méthode de prospection géophysique dite électrique : le quadripôle *Schlumberger*, basée sur les propriétés différentielles de résistivités entre les matériaux du sous-sol. Son principe est fondé sur la loi d'Ohm qui stipule que l'injection d'un courant continu à très basse fréquence dans le sol et la mesure du potentiel permettent de déterminer la résistivité vraie des formations traversées. Concrètement, la méthode est basée sur la mesure en surface de l'intensité et de la différence de potentiel existants entre les différentes électrodes du dispositif de mesure. Le rapport de ces deux paramètres permet de calculer la résistivité électrique des terrains sous-jacents.

Technique pratique : En pratique sur le terrain, on utilise 2 électrodes en acier d'injection de courant notées A et B, ainsi que de 2 électrodes en cuivre de mesure du potentiel notées M et N entre lesquelles la différence de potentiel ΔV dû aux effets de A et B est mesurée.

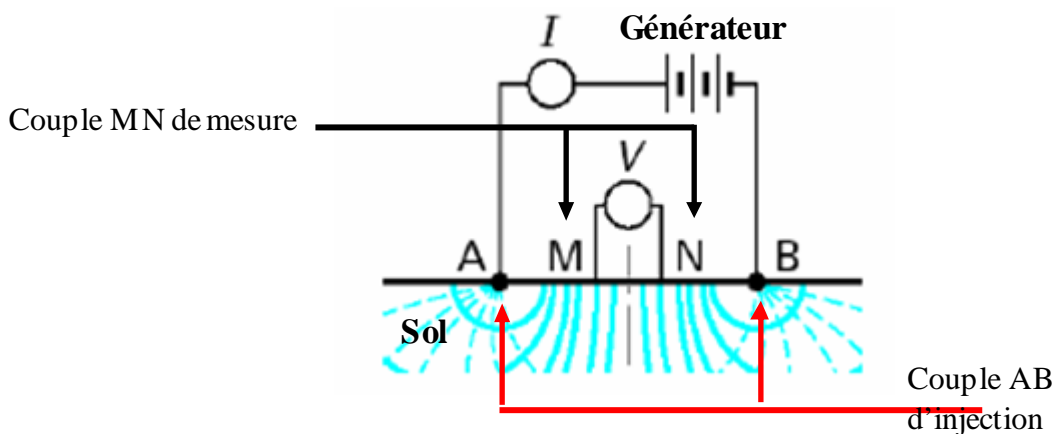


Figure 57 : Schéma du quadripôle ABMN Schlumberger

Les différentes valeurs sont calculées par le biais de la formule de la résistance électrique :

$$R_{app} = C \cdot \frac{\Delta V}{I} ; C = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} + \frac{1}{AN} + \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}}$$

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

Où : ρ_{app} est la résistivité apparente de la roche, exprimée en ohm.m
 C est un coefficient constructeur, dépendant des distances entre les quatre électrodes
 ΔV : la différence de tension mesurée, en volt, exprimée en volts
 I : l'intensité du courant injecté, exprimée en ampères.

Type de résultats et exploitation :

Les données brutes peuvent être recueillies sous forme de graphe $\rho_{app} = f\left(\frac{AB}{2}\right)$.
 Cependant, elles peuvent être analysées par un logiciel informatique appelé RES2DINV[®] qui permet :

- la conversion des valeurs de résistivité apparente en résistivité réelle,
- le maillage du transect et le calcul de la résistivité pour chaque maille,
- la visualisation du résultat sous forme de coupe avec calage sur la topographie.

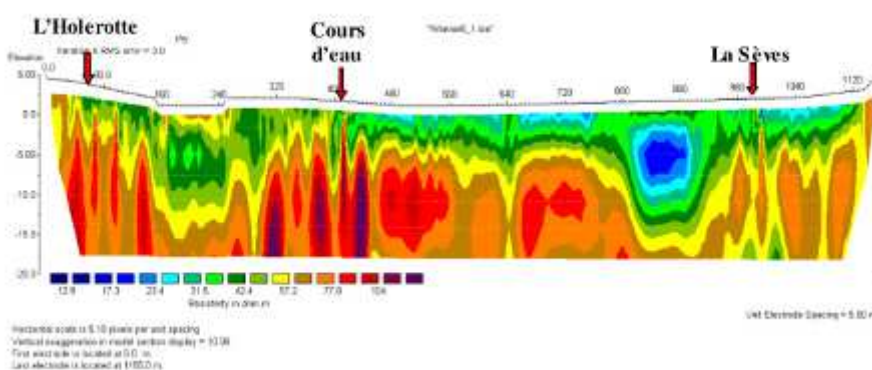


Figure 58 : Type de résultats obtenu selon un transect après traitement des données

Cette méthode a une profondeur de prospection variable jusqu'à 25 mètres, ce qui est suffisant ici, l'épaisseur maximale de tourbe d'après les renseignements acquis sur le terrain étant de 14 mètres.

On récapitule ci-dessous les terrains du sous-sol connus (les valeurs de perméabilités sont celles évaluées d'après l'étude Hydratec, *Modélisation de la nappe de la craie et schéma de régulation des prélèvements en eau*, Rapport de phase 2, pages 33 et 34) :

Nature des matériaux	Perméabilité (en m.s ⁻¹)	Plages de <u>résistivités</u> associées (en ohm.m)
Tourbe	Très variable	5 < ρ_{app} < 100
Argiles sparnaciennes	1.10 ⁻⁶	5 < ρ_{app} < 50
Sables de Bracheux	2.10 ⁻³	2.10¹ < ρ_{app} < 5.10²
Craie fissurée	1.10 ⁻³	30 < ρ_{app} < 3.10²
Craie massive non fissurée	1.10 ⁻⁷	30 < ρ_{app} < 6.10²

Figure 59 : Plages de résistivités des matériaux présents sous les marais

N.B. : La méthode ne permettra que difficilement la distinction entre les couches de tourbe et d'argiles sous-jacentes, ces deux matériaux ayant des portions de plages de résistivité communes.

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

On envisage 4 transects (Cf. Fig.60) qui par interpolations et extrapolations pourront donner lieu à une représentation 3.D. de la zone tourbeuse. Il est tenu compte dans le choix des tracés de la difficulté de réaliser de longs transects compte tenu du milieu et des entraves causées par la végétation, ainsi que de la position des piézomètres. Sont matérialisés en blanc les zones qui peuvent éventuellement être critiques (difficulté de prospection, d'accès):

Proposition de localisation de quatre tracés de prospection géophysique (Août 2011)

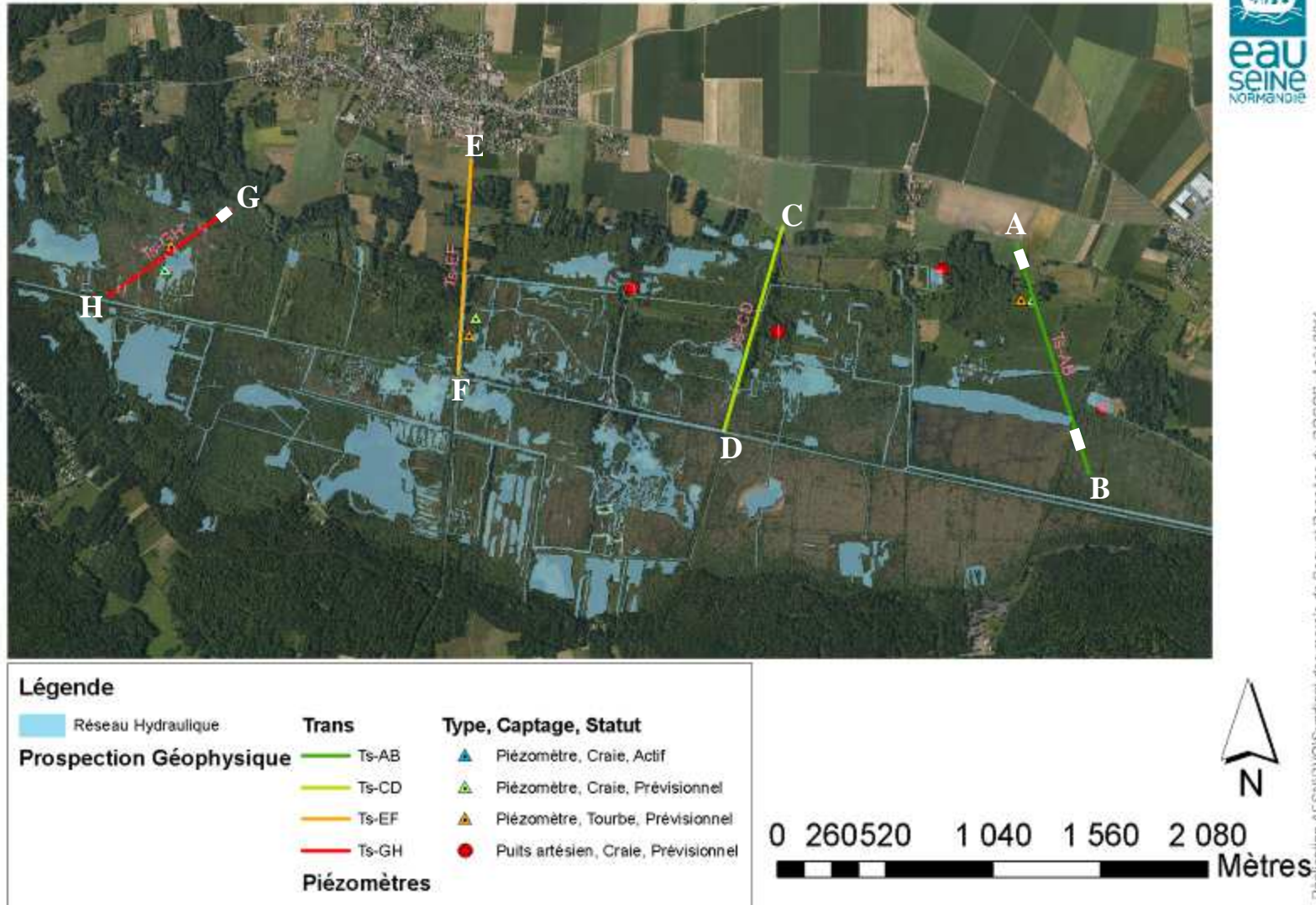


Figure 60 : Localisation des quatre transects

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

Code du transect	Coordonnées Lambert 93 aux extrémités	Longueur	Temps nécessaire
Ts-AB	$\begin{cases} X_A = 669792 \\ Y_A = 6916420 \end{cases}$ $\begin{cases} X_B = 670144 \\ Y_B = 6915296 \end{cases}$	1208 m	2 jours
Ts-CD	$\begin{cases} X_C = 668652 \\ Y_C = 6916487 \end{cases}$ $\begin{cases} X_D = 668367 \\ Y_D = 6915505 \end{cases}$	1087 m	2 jours
Ts-EF	$\begin{cases} X_E = 667146 \\ Y_E = 6916817 \end{cases}$ $\begin{cases} X_F = 667086 \\ Y_F = 6915783 \end{cases}$	1073 m	2 jours
Ts-GH	$\begin{cases} X_G = 665984 \\ Y_G = 6916577 \end{cases}$ $\begin{cases} X_H = 665399 \\ Y_H = 6916150 \end{cases}$	767 m	1 jour

Figure 61 : Caractéristiques des quatre transects

NB : Dans une première évaluation, on choisit de ne sonder que jusqu'à la Frette (zone nord alimentée par la nappe). Si l'on met en évidence une forme de cuvette, il serait envisageable d'adopter une hypothèse de symétrie pour la partie non sondée. Dans le cas contraire, si aucune répartition particulière de la tourbe n'est observée, il faudra envisager de prolonger les sondages vers l'extrémité Sud des marais.

5.6.5.3. Relevés des mesures

Implantation de piézomètres automatique ou manuel ?

Afin d'émettre des hypothèses quant aux relations entre zones humides et profondes, il faut assurer un suivi piézométrique correct et régulier. Que les piézomètres installés soient à relevés manuels ou automatiques, ils nécessitent tous un minimum de maintenance.

Les piézomètres manuels nécessitent des passages réguliers, la contrainte de temps, de disponibilité pour les relevés est donc très importante. On peut par exemple imaginer que le manque de disponibilité répété du personnel pendant certaines périodes (juillet/août par exemple) empêche l'analyse correcte des données. Il est logique de penser qu'outre la différence de coût (équipement automatique plus onéreux, mais coût d'exploitation plus faible), l'exploitation manuelle permette surtout de révéler les grandes tendances saisonnières, alors que l'enregistrement quotidien fournisse de plus amples informations sur des micro-variations plus riches en enseignements. On préconisera donc ce dernier dispositif. (relevés automatiques toutes les heures) Le cas échéant, on relèvera chaque piézomètre le même jour, chaque semaine.

5.6.5.4. Exploitation des données

Une transformation des données brutes sous forme graphique permettra uniquement de suivre le niveau de la nappe. Ce ne seront que des mises en relations avec les banques des données pluviométriques, de surface, d'ETP, de mesure de débits, de prélèvements qui permettront de dégager une logique quant au fonctionnement du système. On peut signaler l'utilité du traitement des données piézométriques sous forme de courbes cumulées. En effet, des variations cumulées de la nappe non négligeables en saison de hautes eaux peuvent être mises en évidence par ce suivi plus fin, ce qui pas toujours significatif en mode de représentation classique.

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy**6. SYNTHÈSE SUR LE SUIVI DES EAUX DES MARAIS DE SACY – VALORISATION DES VALEURS****6.1. Chiffrage opérationnel du plan de gestion**

Il est proposé en page 77 et tient compte de tous les éléments cités dans les précédents paragraphes. Il propose deux cas selon que les débits sont en intégralité mesurés par un bureau d'étude ou non (achat via une entente entre plusieurs syndicats d'un courantomètre pour mesurer en interne les débits). Précisons qu'étant donnée la répartition des mesures de débits dans le temps, et pour obtenir un suivi régulier, cette seconde option est techniquement et financièrement plus avantageuse. Il est nécessaire de préciser que concernant 3 points de suivi (la clôture des forages, la pose des batardeaux et la prospection géologique) des coûts supplémentaires peuvent être engendrés par la facturation du temps de main d'œuvre consommé.

6.2. Schéma bilan sur le suivi global des marais et les actions chronologiques à entreprendre, les données à acquérir et leur exploitation – Comptes rendus du suivi

On se propose de récapituler l'ensemble des actions proposées ci-avant ainsi que les types de données acquises et leurs exploitations dans le schéma bilan de la figure 63.

Ce schéma tient compte des aspects listés ci-dessous :

- Fixation d'un objectif initial de l'élaboration d'un plan de suivi et de gestion fonctionnelle des marais d'ici 2015.
- Prise en compte des contraintes de temps, administratives et financières qui obligent à échelonner les installations de nouveaux réseaux de mesures (piézomètres et ouvrages hydrauliques) et qui, de ce fait, impose une chronologie dans la mise en place de certaines actions (par exemple, il aurait été optimal de pouvoir mettre en place, d'abord un suivi piézométrique fonctionnel sur le nord des marais et ensuite réaliser la phase de tubage des puits pour en évaluer en temps réel son efficacité). Ici, cependant, compte-tenu de la méthodologie expliquée précédemment, on pourra estimer le gain effectué quelques mois après la phase de tubage par calcul de la différence de débits. Il pourra être confirmé et affiné une fois le réseau piézométrique fonctionnel.
- Fixation d'un objectif final d'un gain de 1110 m³/jour évités en vidange de nappe.
- Le contrôle et la stabilité des milieux biologiques. (Modulation du système de régulation des débits)

On tient également à formuler quelques recommandations sur un compte rendu régulier des travaux à savoir :

- Etablir un rapport annuel de suivi et d'interprétation des mesures effectuées toujours dans le but d'atteindre à la fois les objectifs fixés, l'équilibre biologique du milieu et la compréhension hydrodynamique du système.
- Faire un point en 2013 et 2015 pour évaluer l'efficacité des tests.

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

Figure 62 : Chiffrage opérationnel du plan de suivi et de gestion des eaux des marais de Sacy-le-Grand

(1) On prévoit une longueur maximale du tube de 3,5 m par puits : 54 puits au total sont à tuber excepté les 15 tubages déjà réalisés.

(2) Le prix unitaire a été établi par moyenne des devis à disposition.

(3) Les puits ayant des diamètres variables, l'achat de tube devra se faire au "coup par coup".

(4) Pour une petite foreuse, le prix d'aménagé/repli s'élève à 800€ forfaitaire.

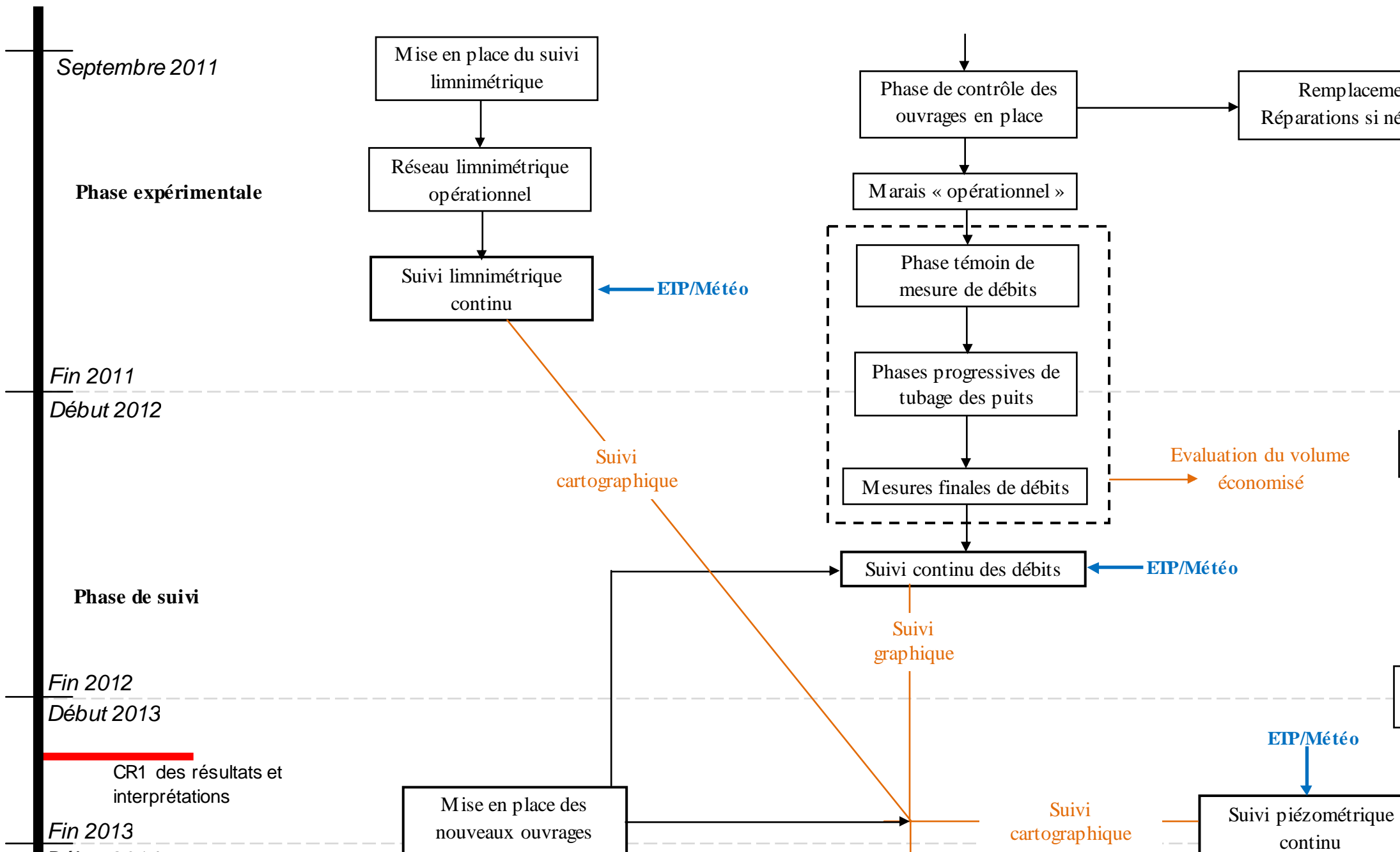
(5) La profondeur moyenne du forage est estimée à 17 mètres pour la craie et 3 mètres pour la tourbe.

(6) Le nombre de puits est indicatif, il sera amené à changer en fonction des observations de terrains.

Catégorie	Eléments à facturer	Unités	Prix unitaire	Sous-total
Suivi des débits				
101	Achat d'un courantomètre	1	12060	12060
102	Phase de tubage : mesure de débits (phase d'initiation) = 10 mesures (en demi journée) sans exploitation de données	2	1300	2600
103	Phase de tubage : mesure de débits (phase de gestion) = 24 mesures (en demi journée) sans exploitation de données	8	1300	10400
104	Phase de tubage : mesure de débits (phase de contrôle) = 10 mesures (en demi journée) sans exploitation de données	2	1300	2600
Sous total H.T. pour les quatre casiers hydraulique				62400
Equipement des tubes				
201	Tube PVC (Diam. Moyen 100 mm) ⁽¹⁾ (par ml)	136,5	1,94166	265,04
202	Vannes à main ou à sphère de diamètre moyen 100 mm ⁽²⁾ (par unité)	11 ⁽⁶⁾	20	220
Sous total H.T.				485,04
Clôture d'ouvrage				
301	Comblement/Fermeture de l'ouvrage par remblai gravitaire/injection	3 ⁽⁶⁾	1500	4500
Sous total H.T.				4500
Ouvrages hydrauliques				
401	Batardeaux (par unités) en palplanches bois Largeur=6 m	3	10000	30000
Sous total H.T.				30000
Suivi limnimétrique				
501	Achat et Installation d'un réseau limnimétrique (par échelles)	19	-	-
502	Calage NGF par un géomètre (par points) ⁽³⁾	200	19	3800
503	Droit fixe, ouverture de dossier, frais administratifs et déplacements	150	1	150
Sous total H.T.				3950
Suivi piézométrique				
601	Amené/Repli de la foreuse standard (forfait) ⁽⁴⁾	1	600	600
602	Mise en station (par forage)	6	100	600
603	Forage équipé (diam. 52/60) (par ml) ⁽⁵⁾	60	50	3000
604	Fournitures et installations (par ml) ⁽⁵⁾	60	20	1200
605	Capot métallique (par unités)	6	100	600
606	Expertise géologique (par jour)	2	550	1100
607	Calage des puits tubés par un géomètre (par point)	4	200	800
Sous total H.T.				7900
Prospection géologique				
701	Prospection quadripole Schlumberger (distance =4072 m) (par km)	4,072	1600	6515,2
Sous total H.T.				6515,2
1ère option				
SOUS TOTAL H.T (en Euros) SANS COURANTOMETRE				115750,24
T.V.A 19,6 %		0,196		25431,05
TOTAL T.T.C (en Euros)				138437,29
2ème option				
SOUS TOTAL H.T (en Euros) AVEC COURANTOMETRE				65410,24
T.V.A 19,6 %		0,196		12820,41
TOTAL T.T.C (en Euros)				78230,64

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

Figure 63 : Plan de suivi et de gestion des eaux des marais de Sacy-le-Grand : Bilan des actions à entreprendre



Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

6.3. Tableaux synthétiques sur chaque point d'action

6.3.1. Les données externes au marais

Types	Pluviométrie et relevés de températures journaliers
Sources	Relevés par un employé du marais sur la parcelle de Rosoy
Fréquence	Journalier pour la pluviométrie et bi-journalier pour la température (à 8h et 14h)
Contraintes	Contraintes de temps et de disponibilité : Aucune.
Objectifs	Quantifier le volume d'eau sortant du système à la surface du système par évaporation/évapotranspiration.
Traitement	Calcul de l' <u>E.T.P.</u> au niveau des marais à partir des données météorologiques. Suivi graphique de la pluviométrie et des températures et mise en relations des graphes avec les graphes limnimétriques et piézométriques.

6.3.2. Le suivi limnimétrique

Lieux	Sur chacune des échelles en place en septembre 2011.
Fréquence de relevés	Relevé simultanés sur toutes les échelles toutes les semaines. Relevé systématique complet le jour des mesures de débits.
Objectifs	Contrôler les niveaux par rapport aux niveaux seuils établis en termes d'équilibres des cours d'eau et des milieux environnants. Mise en relation avec les données piézométrique pour évaluer les échanges nappe/zone humide.
Traitement	Traitement graphique, détermination des débits seuils caractéristiques.

6.3.3. Le suivi des débits

Lieux	Sur les 10 points de mesures définis en figure 45.
Fréquence de relevés	2 types de relevés : <ul style="list-style-type: none"> - Lors de la phase expérimentale de tubage : Avant la phase de gestion des puits, après chaque étape de gestion d'un casier hydraulique, et une fois le processus terminé. - Suivi continu : Relevé tous les deux mois.
Contraintes	Conditions météorologiques stables. Temps et disponibilité : environ une demi-journée.
Objectifs	Par la mise en relation avec les données de débits, établir les courbes de tarage des canaux principaux (E, Frette, Maure) pour définir le mode de comportement du canal et, au final, s'affranchir des mesures de débits. Mise en relation avec les données piézométrique pour évaluer les échanges nappe/zone humide Quantifier le volume d'eau économiser en sortie de chaque casier hydraulique et à l'exutoire des marais Vérifier l'efficacité des actions menées sur les puits (baisse du débit) Contrôler les niveaux par rapport aux niveaux seuils établis en termes d'équilibres des cours d'eau et des milieux environnants (impact sur la Frette)
Traitement	Traitement graphique

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

6.3.4. Les ouvrages hydrauliques

Lieux	Gestion par 10 ouvrages de contrôle (batardeaux) en exutoire des casiers hydrauliques (cf. Fig.47)
Contraintes	Temps et disponibilité, couts : nécessite des visites annuelles de contrôle et d'entretien, avant les périodes de hautes eaux. Couts engendrés par les opérations de maintenance à prévoir.
Objectifs	Permettre une régulation des niveaux d'eau réversible en fonction des évolutions des niveaux d'eau à proximité Garder l'eau au sein des marais et éviter son évacuation par la frette Contrôler les niveaux par rapport aux niveaux seuils établis en termes d'équilibres des milieux

6.3.5. Le suivi piézométrique

Lieux	Sur les 11 points de mesures (6 piézomètres à implanter et piézomètre de Sacy) + mesures sur 4 puits artésiens tubés
Fréquence de relevés	Relevés automatiques et continus toutes les heures (ou hebdomadaire si relevé manuel)
Contraintes	Temps et disponibilité : Aucune
Objectifs	Mise en relation avec les données de prélèvements de façon à contrôler la sensibilité piézométrique de la nappe sous les marais. Evaluer la réduction du taux de vidange de la nappe suite au tubage des puits artésiens, le cas échéant, réajuster les opérations de tubage Apporter des informations sur les phénomènes hydrogéologiques à la transition nappe captive/nappe libre. Permettre un contrôle des niveaux d'eau en lien avec l'évolution du milieu biologique.
Traitement	Traitement graphique

BIBLIOGRAPHIE

Rapports d'études

AGENCE MOSAÏQUE ENVIRONNEMENT, Document d'objectifs Natura 2000 des marais de Sacy-le-Grand, Site FR 2200378, Janvier 2005, 240p.

STUCKY, *Etude hydraulique en basses et hautes eaux des Marais de Sacy-le-Grand*, Rapport d'étude, Version finale, Juin 2008, 90p.

HYDRATEC, *Modélisation de la nappe de la craie et schéma de régulation des prélèvements en eau*, Rapport de phase 2, Février 2010, 97p.

EAU ET INDUSTRIE, *Suivi de niveaux du champ captant de Labruyère et du marais*, Communauté des communes du Liancourtois / La vallée dorée, Mai 2010, 80p.

Synthèses

FORKASIEWICZ J., MARGAT J., PEAUDECERF P., *Essais sur les forages artésiens jaillissants et sur les sources*, B.R.G.M., Département géologie de l'aménagement/Division hydrogéologie, Août 1976.

CAREN (Centre Armoricaïn de Recherche en Environnement), *Détermination des épaisseurs cumulées de tourbe du bassin de Sainteny*, Synthèse de rapport d'étude, Décembre 2009.

CEMAGREF-INRA, *Fonctionnement hydrologique d'une zone humide, conséquences sur son potentiel épurateur : Exemple du bassin versant du ru des Roises*, Septembre 2002.

MAGNON Geneviève, *Tendre vers une restauration fonctionnelle des tourbières, Nouveaux éléments de connaissance, de réflexion et de gestion*, Communauté des communes de Frasnès-Drugeon, 2010.

TOURNEBIZE J., MICHELIN J., *Les zones humides comme aménagement tampon pour la rétention des contaminants : exemples d'une ancienne cressonnière, d'une tourbière et d'un bassin de stockage d'eau pour l'irrigation*, PIREN-Seine, Phase V – Rapport de synthèse 2007-2010

SMOA (Syndicat Mixte Oise Aronde), *Modélisation de la nappe de la craie et schéma de régulation des prélèvements en eau*, Comité de pilotage SACY, Réunion n°20, Synthèse de rapport d'étude, 17 mars 2011, 14 diapositives.

Ouvrages

FUSTEC E., LEFEUVRE J-C., *Fonctions et valeurs des zones humides*, Page 79, Dunod, Paris, 2000, 427p.

DE MARSILY G., *Cours d'hydrogéologie*, Page 84, Paris, Septembre 2004, 225p.

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

BRGM, *Notice de contrôle et fermeture des puits et forages*, BRGM/RP-52353-FR, 2003, 18p.

Documents pédagogiques

COLON-DROUAILLET P., *Cours d'hydrologie de surface*, ENSG, Nancy, 30p.

CHAPELLIER D. & MARIJ.-L., Cours online de géophysique – Principes de base, Université de Lausanne – Institut français du pétrole, 34p.

ALPESGEOCONSEIL, *La géophysique électrique*, <http://www.alpesgeoconseil.com/geophy/>, consulté le 2 août 2011.

Internet

ECHO2, Le stockage et ses variations, <http://echo2.epfl.ch/edrologie/chapitres/chapitre6/chapitre6.html>, consulté le 5 août 2011.

Cartes

I.G.N, Carte IGN de Clermont au 1/25000^{ème}, 2411 O, Série Bleue.

BRGM, Carte géologique au 1/50000^{ème} de Compiègne, XXIV -11.

GLOSSAIRE

Courbe de tarage : C'est l'ensemble des points de coordonnées (x : hauteur d'eau, y : débit) mesurés pour un cours d'eau donné. La relation $Q=f(h)$ peut se présenter sous forme d'une courbe (dite de tarage), d'un tableau donnant directement la correspondance hauteur-débit, ou encore d'une formule hydraulique comportant un ou plusieurs coefficients caractéristiques du cours d'eau.

Evapotranspiration potentielle (ETP) : C'est la quantité d'eau totale transférée du sol vers l'atmosphère par l'évaporation au niveau du sol et par la transpiration des plantes dans des conditions où l'eau n'est pas facteur limitant (conditions vérifiées dans les marais).

Loi d'Ohm : Loi physique permettant de relier l'intensité du courant électrique traversant un dipôle à la tension à ses bornes : Tension = Résistance*Intensité ($U=R.I$)

NGF (Cote – Nivellement général de la France) : Il s'agit d'un réseau de repères altimétriques disséminés sur le territoire français métropolitain continental dont l'Institut géographique national (IGN) a aujourd'hui la charge. Ce réseau est actuellement le réseau de nivellement officiel en France métropolitaine.

Nombre de Reynolds : Il s'agit d'un nombre sans unité utilisé en mécanique des fluides. Il caractérise un écoulement dans une conduite, en particulier la nature de son régime. Sa définition est la suivante :

$$Re = \frac{\text{vitesse} \times \text{diamètre de la conduite}}{\text{viscosité cinématique du fluide}}$$

Pertes de charges : En hydraulique, la perte de charge correspond à l'énergie dissipée par le frottement du fluide en mouvement sur les parois de la conduite dans laquelle il s'écoule. Elle est souvent fonction de la rugosité des parois.

Potentiel électrique : Il s'agit d'une des grandeurs définissant l'état électrique d'un point dans l'espace. Il s'exprime en volts.

Q.M.N.A. : Il s'agit d'une valeur du débit mensuel d'étiage atteint par un cours d'eau pour une année donnée. Calculé pour différentes durées : 3 ans (Q.M.N.A.3), 5 ans (Q.M.N.A.5). Il permet d'apprécier statistiquement le plus petit écoulement d'un cours d'eau sur une période donnée.

Régime hydraulique torrentiel et fluvial : Ce sont des notions hydrauliques qui participent à la caractérisation de la stabilité d'un écoulement à surface libre (cours d'eau). Un régime fluvial est associé à un écoulement stable (ligne de courant parallèle entre elles) tandis qu'un régime torrentiel est désorganisé.

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

Régime turbulent : Il s'agit d'un état d'écoulement dans lequel la vitesse présente en tout point un caractère tourbillonnaire (tourbillons dont la taille, la localisation et l'orientation varient constamment)

Résistivité : La résistivité d'un matériau représente sa capacité à s'opposer à la circulation d'un courant électrique. Elle s'exprime en ohm. mètre.

Théorème de Bernoulli : Ce théorème exprime le bilan hydraulique simplifié d'un fluide dans une conduite, en prenant en compte son énergie cinétique (lié à sa vitesse) et potentielle (lié à sa cote). Il stipule que la charge du fluide est constante si l'on néglige le phénomène de pertes de charges.

V.C.n. : Débit minimal d'un cours d'eau sur n jours consécutifs (V.C.1, V.C.3...)

ANNEXES

Annexe 1 : Carte I.G.N. au 1/25000^{ème} des marais de Sacy (carte d'Estrées-Saint-Denis)

Annexe 2 : Carte géologique au 1/50000^{ème} des marais de Sacy (carte de Compiègne)

Annexe 3 : Orthophotographie des marais de Sacy (avec localisation des communes alentours)

Annexe 4 : Carte des données sur les épaisseurs des argiles actuellement disponibles via les forages

Annexe 5 : Exemple de fiche remplie lors de la phase de recensement des puits artésiens

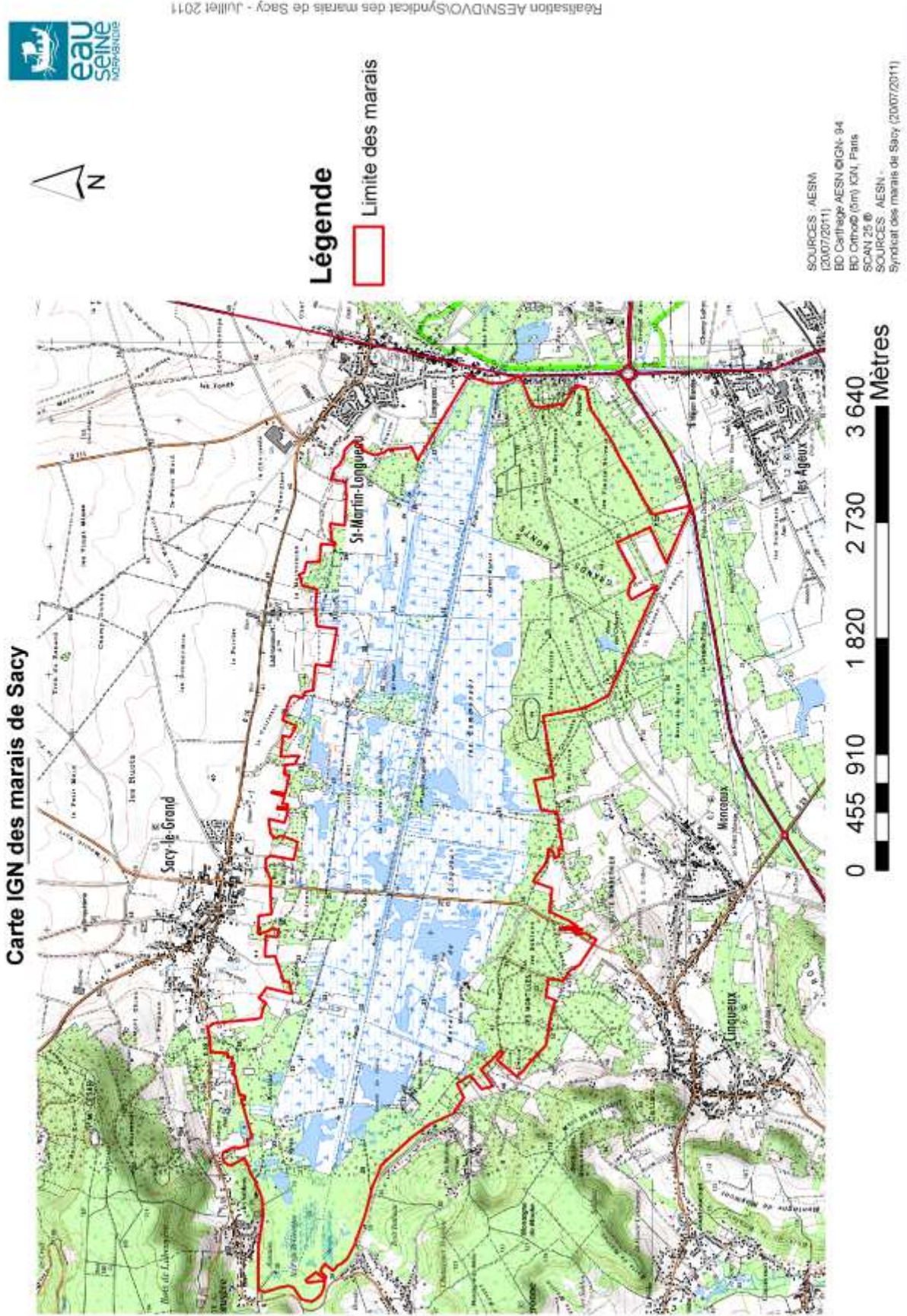
Annexe 6 : Cartographie des puits artésiens sur le Nord des marais de Sacy

Annexe 7 : Cartographie des zones de sources des marais de Sacy

Annexe 8 : Réseau hydraulique des marais de Sacy

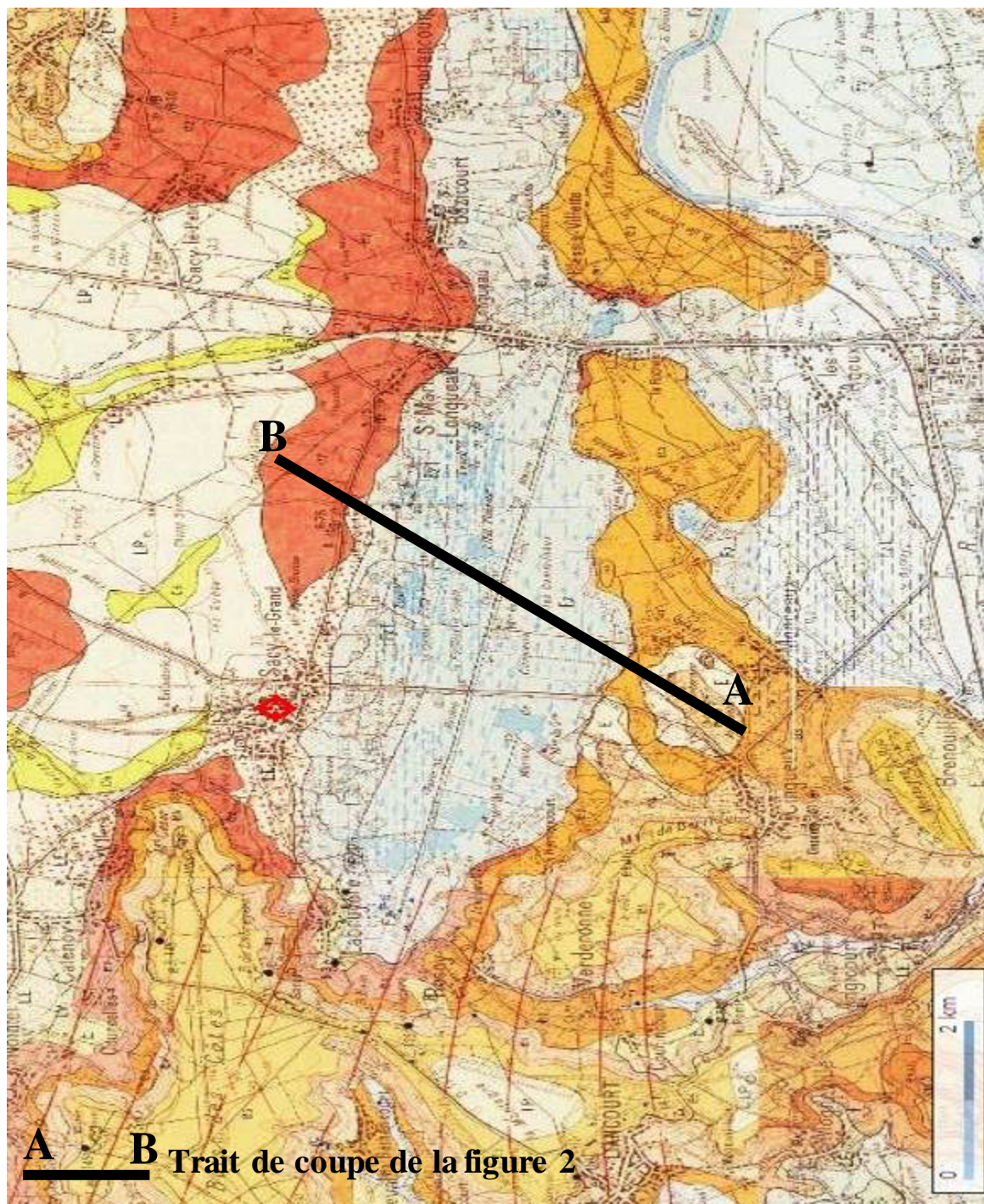
Annexe 9 : Hiérarchie des casiers en fonction de critères hydrauliques












Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy



Annexe 1 : Carte I.G.N. au 1/25000ème des marais de Sacy (carte d'Estrées-Saint-Denis)

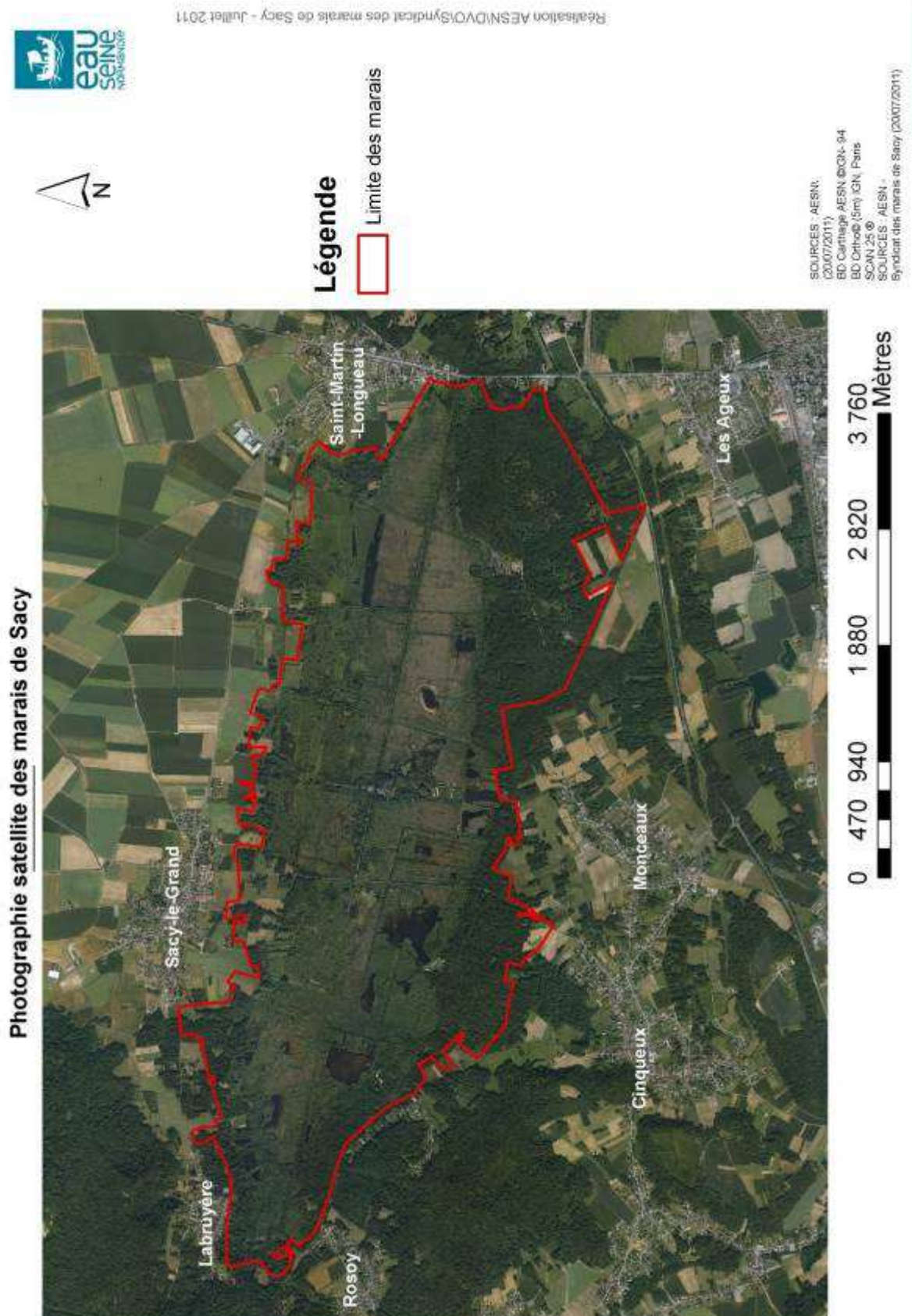
Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy



- | | | | |
|---|--|---|--|
|  | Eboulis, colluvions |  | Lutétien : Marnes et Caillasses et calcaire à Cérithes, Calcaire grossier s.l. |
|  | Limons bruns des pentes |  | Yprésien supérieur, Cuisien : Argiles de Laon, Sables de Cuise s.l. |
|  | Alluvions modernes associées à des tourbes |  | Yprésien inférieur, Sparnacien : Argiles et lignites s.l. |
|  | Limons de fond de vallées sèches |  | Thanétien : Sables de Bracheux |
|  | Limons des plateaux |  | Campanien : Craie à Bélemnites |
| | |  | Hydro |

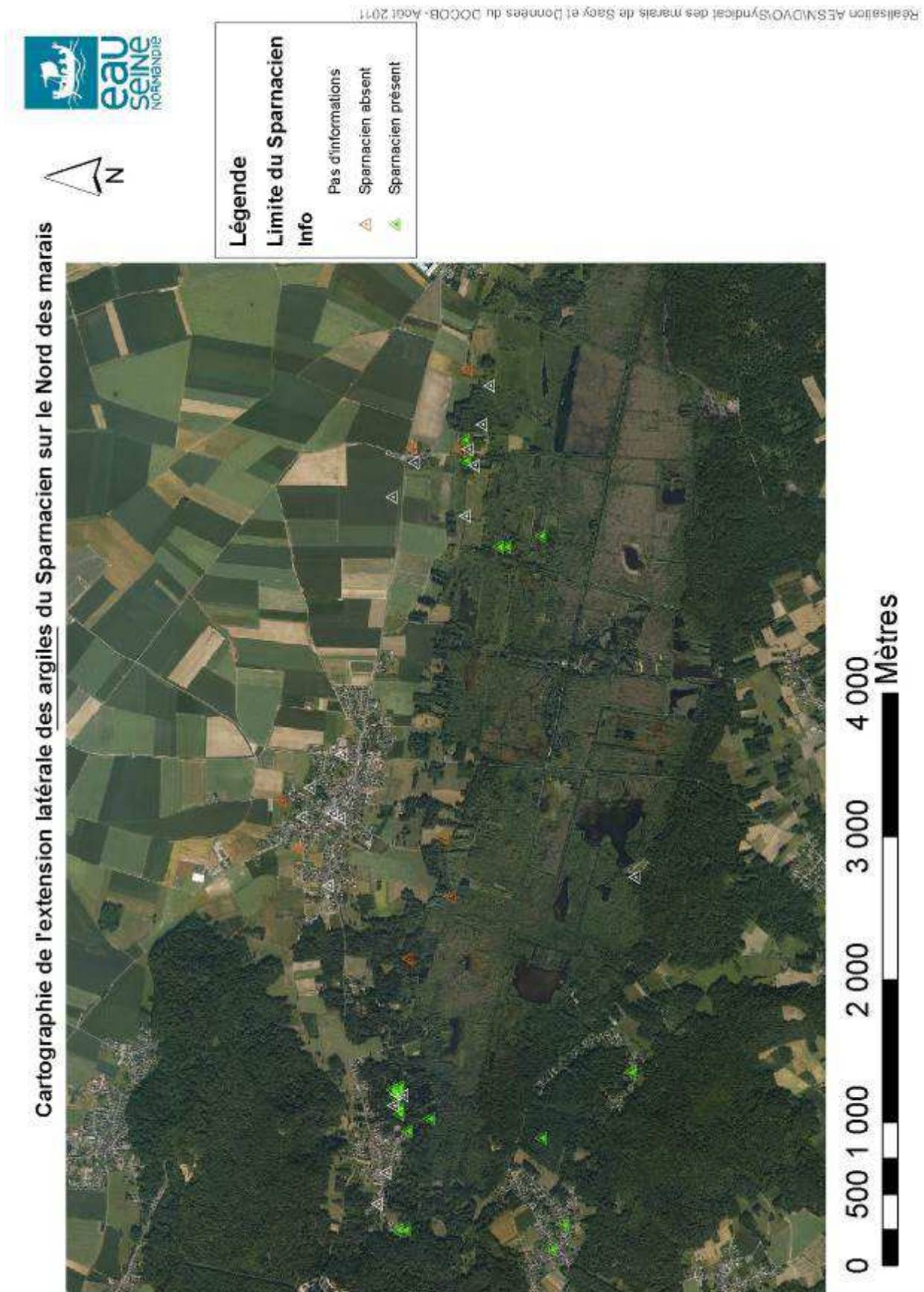
Annexe 2 : Carte géologique au 1/50000ème des marais de Sacy (carte de Compiègne)

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy



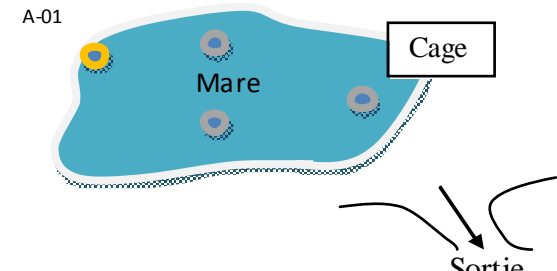
Annexe 3 : Photographie satellite des marais de Sacy

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy




Annexe 4 : Carte des données disponibles via les forages sur la présence des argiles du Sparnacien

PUITS ARTESIEN DES MARAIS DE SACY : fiche caractéristique **F1**

LOCALISATION GEOGRAPHIQUE	
<p>Date de recensement : 11/07/2011 Propriétaire de la parcelle du marais : Mr A Locataire : Inconnu (Parcelle louée) Éléments de localisation : Sortie de E, Première route à gauche, au bout du chemin, seconde parcelle protégée par un grillage et une porte. Sur la partie gauche de la mare. Code du puits : A-01 Carte de repérage : CARTE Z1</p>	<p>Schématisation sommaire :</p>  <p>Le schéma illustre une mare (en bleu) avec quatre puits (représentés par des cercles bleus). Le puits A-01 est marqué d'un point orange. Une cage est indiquée à l'extrémité droite de la mare. Une flèche pointe vers la 'Sortie' de la mare.</p>

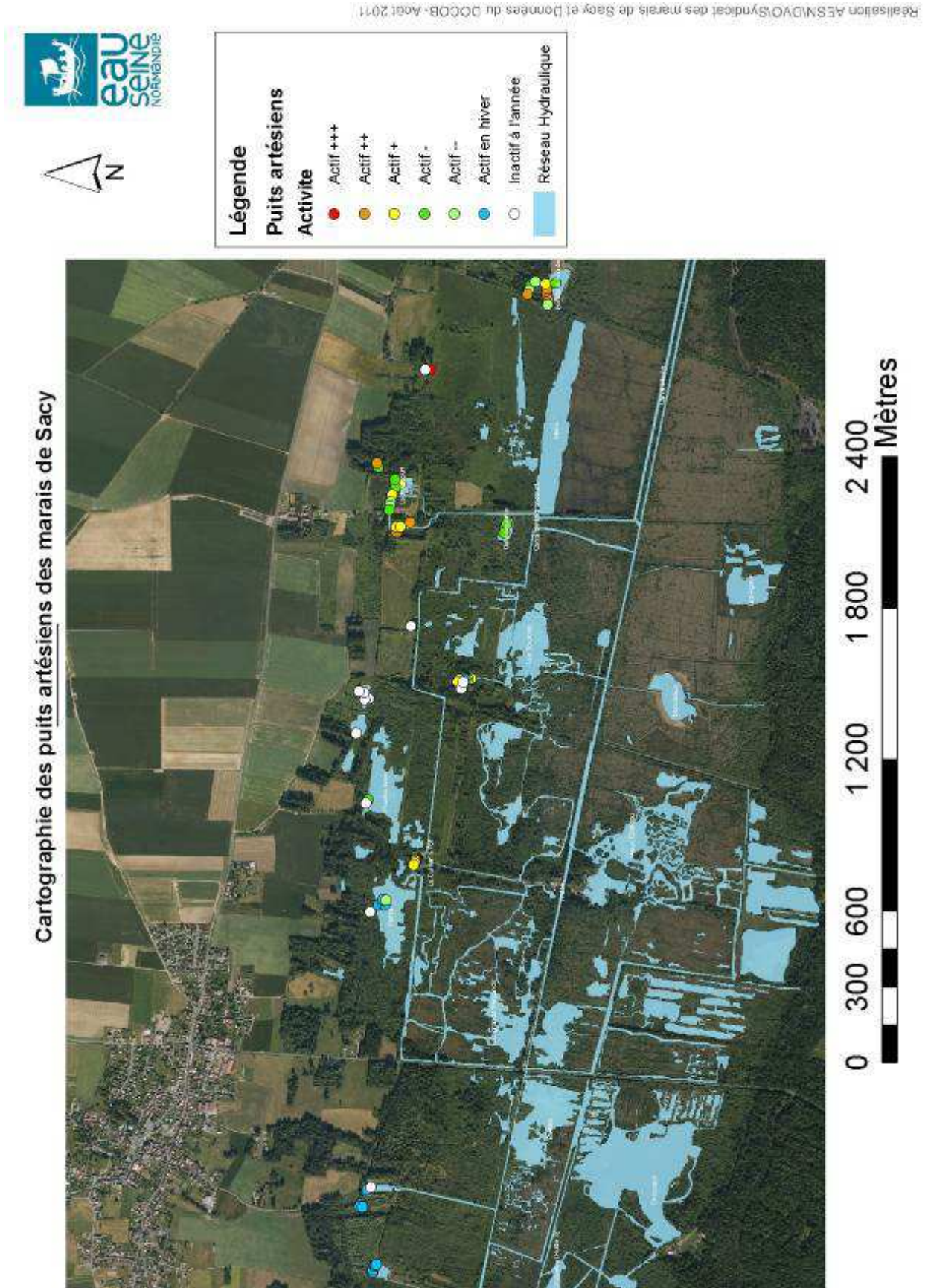
CARACTERISTIQUES TECHNIQUES	
<p>Etat : <input checked="" type="checkbox"/> Tubé <input checked="" type="checkbox"/> Colmaté <input type="checkbox"/> Aucun</p> <p>Descriptif : Tubé à l'aide d'un tube PVC, le niveau piézométrique est égal à celui de la mare à proximité.</p> <p>Diamètre (en mm) : Intérieur : <input type="text" value="120"/> Extérieur : <input type="text" value="125"/></p>	<p>Profondeur (en m): 43</p>
<p>Débit : Puits inactif <input checked="" type="checkbox"/> Puits actif <input type="checkbox"/></p> <p>Inactif à l'année : <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Inactif lors du recensement mais actif en hiver <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> -- <input type="checkbox"/> - <input type="checkbox"/> + <input type="checkbox"/> ++ <input type="checkbox"/> +++</p>	
<p>Indice photo (°) ou vidéo (°) du puits : CIMG0005^P - CIMG0006^P</p>	

ENVIRONNEMENT DU PUIT
<p>Contexte hydrologique superficiel: Situé en périphérie d'une mare de 15 à 20 m², de 40 à 50 cm de profondeur.</p> <p>Distance à l'exutoire (en m) : Exutoire absent.</p> <p>Dynamique et qualité de l'eau : Eau stagnante.</p> <p>Habitat floristique environnant : Végétation arbusive en périphérie de la mare, présence abondante de roseaux sur le contour de la mare.</p> <p>Indice photo : CIMG0001^P (panorama de la mare) - CIMG0002^P - CIMG0003^P - CIMG0004^P</p>

REMARQUES	PHOTOGRAPHIE
<p>4 puits sont présents sur la parcelle et ont été creusés manuellement dans les années 1970-1980. Leur création et leur usage sont indépendants des cressonnières. Ils furent utilisés occasionnellement en période de forte sécheresse. La parcelle est entretenue par le propriétaire.</p>	 <p>La photo montre un puits artésien creusé dans un marais, avec une cage en PVC visible. Une échelle de 10 cm est indiquée en bas à droite.</p>

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

Cartographie des puits artésiens des marais de Sacy



Annexe 6 : Cartographie des puits artésiens sur le Nord des marais de Sacy

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy

Réalisation ASSMIDVO/Syndicat des marais de Sacy et Données du DCCDB- Août 2011

Cartographie des zones de sources des marais de Sacy



Légende

■ Réseau Hydraulique

Annexe 7 : Cartographie des zones de sources sur les marais de Sacy

Plan de suivi et de gestion des eaux profondes et de surface des marais de Sacy



Realisation AESN/DV/O/Syndicat des marais de Sacy et Données du DCCOB - Août 2011

Réseau hydraulique des marais de Sacy

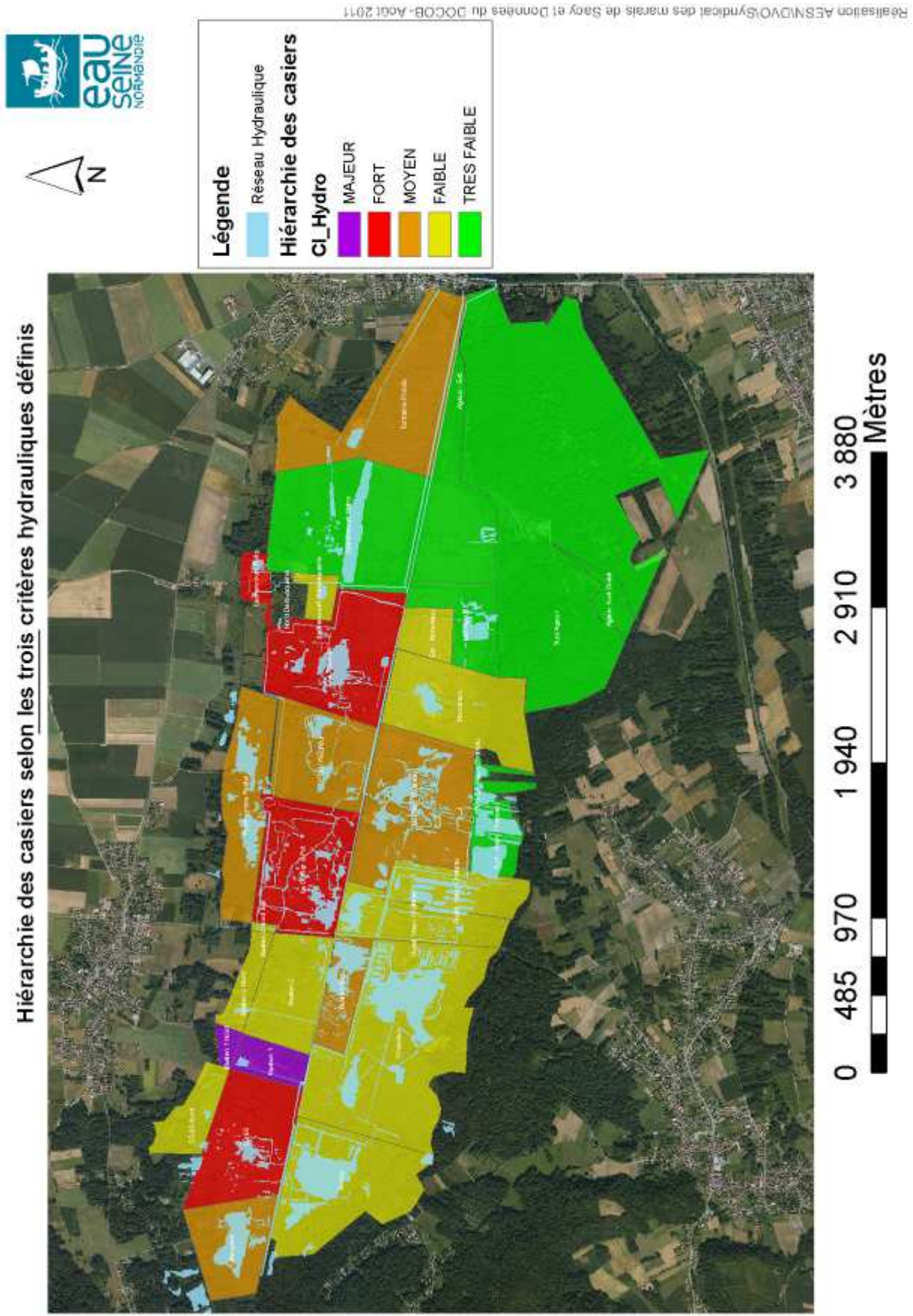


Légende

■ Réseau Hydraulique

Annexe 8 : Réseau hydraulique des marais de Sacy

Hierarchie des casiers selon les trois critères hydrauliques définis



Annexe 9 : Hierarchie des casiers en fonction de critères hydrauliques