

**Syndicat Départemental de l'Eau
Département de l'Orne**

**Impact des prélèvements d'eau souterraine sur
le fonctionnement hydraulique du marais du
Grand Hazé (61)**

Note de synthèse

Réf. D0460110
R_1070211_V1
14 avril 2011

SOMMAIRE

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUCTION | 4 |
| 2 | APPORTS DES ETUDES ET MESURES ANTERIEURES..... | 6 |
| 2.1 | Géologie | 6 |
| 2.2 | Hydrogéologie | 7 |
| 2.3 | Hydrochimie | 8 |
| 2.4 | Incidences des pompages..... | 11 |
| 2.5 | Fonctionnement hydraulique du marais..... | 11 |
| 2.6 | Fonctionnement hydrogéologique..... | 12 |
| 2.7 | Conclusion | 13 |
| 3 | RÉSULTATS DES INVESTIGATIONS COMPLÉMENTAIRES ET DE LA | |
| | MODELISATION | 14 |
| 3.1 | Prospection géophysique..... | 14 |
| 3.2 | Analyses isotopiques | 15 |
| 3.3 | Modèle numérique d'écoulements souterrains | 17 |
| | 3.3.1 Validation du modèle | 17 |
| | 3.3.2 Synthèse des principaux résultats simulés..... | 18 |
| | 3.3.3 Comparaison aux flux naturels de sortie du Marais | 19 |
| | 3.3.4 Conclusion..... | 20 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Signature isotopique des eaux superficielles et souterraines..... | 16 |
| Tableau 2 : Comparaison des rabattements simulés et observés..... | 18 |
| Tableau 3 : Impact simulé d'un prélèvement sur le forage de Val de Breuil | 18 |
| Tableau 4 : Impact simulé de prélèvements sur les forages de Val de Breuil et Ru Source Philippe | 19 |
| Tableau 5 : Impact simulé de prélèvements sur les forages de Val de Breuil, Ru Source Philippe et les ouvrages agricoles et domestiques | 19 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|---|----|
| Figure 1. Localisation du marais du Grand Hazé..... | 5 |
| Figure 2 : Schéma hydrogéologique du secteur du marais du Grand Hazé..... | 7 |
| Figure 3 : Caractérisation hydrochimique SO ₄ -SiO ₂ et Cl-SiO ₂ des eaux du secteur de marais du Grand Hazé | 10 |
| Figure 4 : Schéma de fonctionnement du marais (source : Romaneix 2008 [6]) | 12 |
| Figure 5 : Localisation des profils géophysiques sur fonds IGN au 1/25 000 | 14 |
| Figure 6 : Interprétation géologique des profils géophysiques | 15 |
| Figure 7 : Distribution des résultats des analyses isotopiques et Droite Météorique Mondiale d'équation $\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$ | 16 |
| Figure 8 : Comparaison des rabattements simulés et observés | 18 |

DOCUMENTATION CONSULTEE

- [1] Etude et évolution d'un marais : Le cas du Grand Hazé (Cador Jean Michel - Université de Caen - 09/1988).
 - [2] Marais du Grand Hazé : objectif 2000 (Marina Guillemine - BTSA gestion et protection de la nature - Lysée agricole de Sées - 1999)
 - [3] Marais du Grand Hazé : projet de document d'objectifs Natura 2000 (CPIE du Cotentin - 02/2001)
 - [4] Etude hydraulique du site du marais du Grand Hazé - rapport final (Christian Romaneix - CCEE - 12/2007)
 - [5] Etude hydraulique du site du marais du Grand Hazé - note complémentaire au rapport final (Christian Romaneix - CCEE - 01/2008)
 - [6] Complément d'Etude hydraulique du site du marais du Grand Hazé (Christian Romaneix - CCEE - 12/2008)
 - [7] Analyse du fonctionnement hydrochimique des tourbières des marais du Cotentin, Basse-Normandie: influence des flux d'eau souterraine entre les zones humides superficielles et les aquifères profonds (C. Auterives, L. Aquilina, M. Davranche - Fédération de Recherches CAREN Université Rennes I-CNRS - 2006)
 - [8] Reconnaissance géologique et géophysique préalable à la recherche de sites favorables à la prospection d'eau - régions de Briouze et Frênes (61) (Calligée - Pas ca! Bouton - 12/1996) o Reconnaissance complémentaire géophysique de sites favorables à la prospection d'eau région de Briouze (61) (Calligée - Pascal Bouton - 06/1997)
 - [9] Etude géologique et hydrogéologique de la bordure sud du massif granitique d' Athis-de-l'Orne (Franck-Olivier Champel- Université Caen - rapport stage au SDE - 10/1999)
 - [10]Analyse synthétique géologique, hydrogéologique, pédologique et hydraulique du marais et de l'aquifère schisteux de la dépression du Houlme (B. Lemoine - CG6 1 /DSA/SRE - 04/2005)
 - [11]Reconnaissance géophysique du marais du Grand Hazé et de son environnement - Briouze (61) (Calligée - Pascal Bouton / Guillaume Trancart - 07/2005)
 - [12]Etude de vulnérabilité - Forage du ru du Val du Breuil - Briouze (61) (ASTER - 02/2006)
 - [13]Document d'incidence sur la zone Natura 2000 marais du Grand Hazé (ASTER - 02/2006)
 - [14]A vis de l'hydrogéologue agréé - Périmètres de protection du captage du ru du Val du Breuil (Yvon Georget - 03/2006)
 - [15]Résultats d'analyses hydrochimiques et datation des eaux - rapport de synthèse hydrogéologique (Virginie Vergnaud - LADES - 12/2009 - en attente)
 - [16]Travaux de recherche et de production (foration, coupes. essais de pompage, analyses) o Suivis piézométriques depuis 2005 (centrales de mesures, mesures manuelles 1 par semaine - cf. carte des points de surveillance) - SDE 61.
- Le marais du Grand Hazé s'étend sur une surface d'environ 20 ha, à l'Ouest de Briouze (département de l'Orne).

1

INTRODUCTION

Le marais du Grand Hazé est situé sur la commune de Briouze, dans le département de l'Orne (Figure 1). Il s'étend sur une surface d'environ 20 ha, à l'ouest de Briouze.

Le site du marais est caractérisé par une anthropisation importante, et ce depuis le 12^{ème} siècle. Cette anthropisation contribue aujourd'hui à maintenir le milieu, fragilisé, dans un équilibre précaire. Aucun projet de travaux d'aménagement n'a cependant vu le jour jusqu'aux études récentes.

Les formations schisteuses reconnues par forages entre 50 et 100 m de profondeur en bordure de la vallée au Nord et au Sud du marais ont montré de fortes productivités en eau. Deux forages F1 et F2 " Ru du Val du Breuil " dans le secteur Nord ont été mis en exploitation en 2006 pour la Communauté d'Agglomération du Pays de Flers.

Soucieux de répondre aux questions relatives à l'incidence possibles des pompages, le Syndicat Départemental de l'Eau de l'Orne (SDE61) a, depuis 2005, mis en place un réseau de suivi piézométrique et réalisé une étude et des campagnes d'analyses hydrochimiques visant à mieux comprendre le fonctionnement hydraulique du marais.

En parallèle, des études ont été menées pour comprendre le fonctionnement hydrologique du Marais et préparer le classement du marais en zone Natura 2000.

Pour répondre aux questions qui se posaient alors sur l'incidence des pompages d'eau souterraine sur le marais et compléter les approches précédentes, le SDE61 a confié en 2010 une étude hydrogéologique approfondie au groupement de bureaux d'études spécialisés TELOSIA et HYDRIAD.

Cette étude a été structurée en deux phases :

- Une première phase visant à synthétiser et interpréter l'ensemble des données et les études existantes ;
- Une seconde phase de mesures complémentaires visant à lever certaines incertitudes et aboutissant à la construction d'un modèle de simulation des écoulements souterrains, cet outil devant permettre de quantifier les flux d'échange entre les eaux superficielles et souterraines et les incidences des pompages sur le marais.

2

APPORTS DES ETUDES ET MESURES ANTERIEURES

2.1 Géologie

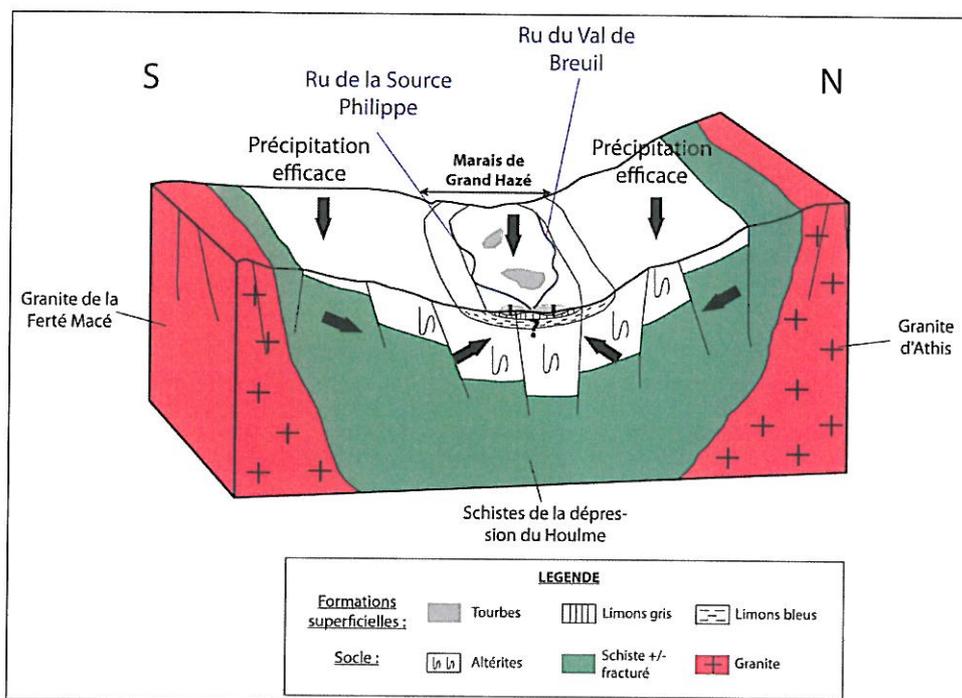
Le marais du Grand Hazé est situé dans la dépression du Houlme, entre Flers et Argentan. Cette dépression est occupée par des schistes et des grauwackes du Briovérien et bordée par les massifs granitiques intrusifs d'Athis au Nord et de La Ferté Macé au Sud.

Le marais occupe la position la plus basse de la dépression du Houlme. Dans l'axe de cette dépression, les schistes sont recouverts par des altérites, des terrains issus de l'altération des schistes et des granites. Ces altérites présentent sur le site du marais des épaisseurs de 15 à 30 m. Elles jouent un rôle spécifique dans le fonctionnement hydrologique et hydrogéologique du marais.

Les formations en présence sur le marais sont de haut en bas :

- des **tourbes** uniquement présentes dans la partie centrale du marais, d'une épaisseur comprise entre 0,3 et 1 m
- des **limons gris** présents sur toute la superficie du marais, d'une épaisseur de 0,5 à 1 m.
- des **limons bleus** (également appelées argiles bleues) présents sur une étendue plus large, avec des épaisseurs de 1,5 à 2,5 m. Les mesures géophysiques et les descriptions lithologiques disponibles indiquent une formation d'une épaisseur de 1 à 5 m, de tendance franchement argileuse et peu perméable. Les perméabilités seraient de l'ordre de 10^{-7} à 10^{-9} m/s. Ces évaluations sont en cohérence avec les observations de Cador [1] mais en décalage par rapport aux mesures de perméabilité réalisées en 2007 [5] et annonçant des valeurs plus élevées (10^{-6} et 10^{-7} m/s).
- des **altérites** de teneur importante en argile, peu consolidées et d'une épaisseur allant de 16 m au Nord à 25 m au Sud du marais. Sous le marais, la base des altérites se situe à une profondeur comprise entre 15 m et 44 m. En dessous de ces cotes, on rencontre les schistes non altérés et parfois fracturés. La nature argileuse de ces formations et la très faible production d'eau reconnue en cours de creusement des forages traduisent une très faible perméabilité. Celle-ci n'est cependant pas connue.
- des **schistes** apparaissant en surface au Nord et au Sud du marais. Ils sont marqués par une fracturation importante qui en fait un aquifère très productif. Les granites n'ont pas été atteints à une profondeur de 100 m.

On retiendra de ces analyses et investigations que les formations superficielles des limons bleus sont de nature nettement argileuse, comme les altérites qui surmontent les schistes.



2.2 Hydrogéologie

Les formations aquifères sont successivement :

- les **altérites**, terrains peu perméables mais présentant une capacité d'emmagasinement non négligeable, estimée de 1 % à 15%. Cette caractéristique leur confère un rôle de stockage des eaux souterraines,
- les **formations fissurées** : schistes, cornéennes, granites.

L'analyse des **historiques de niveau d'eau** montrent des fluctuations de 5 à 7 m sur les bordures de la vallée et de 1 à 1,5 m au droit du marais.

Les niveaux schisteux fracturés et productifs situés sous les altérites sont captifs (sous pression). Ces dernières formations sont également captives sous une épaisseur variable d'argile (limons bleus). Ceci confère un caractère d'artésianisme temporaire aux principaux ouvrages du secteur avec durant les hautes eaux un niveau d'eau naturel remontant dans les forages au dessus de la surface du sol.

Les évolutions comparées des niveaux des piézomètres P25 et P26 indiquent l'absence de décalage important entre les piézométries des altérites et des schistes.

Les niveaux d'eau des limons [5] et des altérites/schistes montrent une assez bonne corrélation. Les niveaux d'eau dans les limons sont donc influencés par les fluctuations de niveau de la nappe des altérites.

La piézométrie et les écoulements d'eau souterraine suivent dans l'ensemble l'allure de la topographie, avec des écoulements partant des coteaux vers le centre de la vallée. Ces écoulements suivent ensuite un axe de drainage orienté d'Ouest en Est en direction de Briouze au niveau duquel les écoulements semblent subir une forte convergence.

Les différences entre basses et hautes eaux ne sont pas très importantes et elles ne modifient pas le schéma général des écoulements décrit ci-dessus.

Une réinterprétation des pompages d'essai réalisés par le SDE61 a permis de préciser les **paramètres hydrodynamiques** des formations captées.

Les **transmissivités** des schistes sont assez homogènes, comprises entre : $6 \cdot 10^{-4}$ et $7,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Les valeurs pour les schistes modérément à profondément altérés des coteaux du marais sont comprises entre $1 \cdot 10^{-4}$ et $2,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Les **coefficients d'emmagasinement** sont compris entre $2 \cdot 10^{-3}$ et $9,7 \cdot 10^{-2}$.

Ces derniers ne sont pas caractéristiques de conditions de captivité, ayant été calculés à partir de piézomètres implantés en bordure du marais, en dehors des secteurs où les altérites de nature nettement plus argileuses dépassent 10 m.

L'épaisseur de la zone de production des forages captant les schistes atteint une valeur comprise entre 8 et 29 m. Les **perméabilités** équivalentes calculées sont comprises entre $1 \cdot 10^{-4}$ et $7,3 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$.

2.3 Hydrochimie

L'étude a repris l'ensemble des données disponibles permettant de mettre en perspective les résultats fragmentaires des différentes études précédentes.

Les caractéristiques chimiques semblent indiquer la prépondérance de l'altération des granitoïdes comme source la plus probable de la minéralisation des eaux des captages étudiés.

Les résultats des analyses du site F1 "SNCF" Val du Breuil et Fe1 "Source Philippe" montrent cependant des variations de concentrations parfois importantes dans le temps.

Malgré la prise en compte de toutes les analyses disponibles, le nombre de mesures reste insuffisant pour établir une classification représentative de chaque milieu (altérites, schistes, marais, cours d'eau).

Cet exercice est d'autant plus délicat que les résultats d'analyses sur les forages atteignant les schistes montrent une variabilité importante de concentrations.

Cette variabilité de concentrations est très probable pour les autres milieux également, mais non renseignée en raison du manque d'information.

Les éléments principaux qu'il est possible de retirer de l'analyse des suivis chimiques sont les suivants :

- Les **eaux du marais** sont en grande partie constituées par les eaux des ruisseaux, en particulier en étiage. La présence de fluor, de sulfates et de fer dans les eaux du piézomètre de surface NP04 indique une origine complexe de l'eau qui n'a pu être précisée.

- Le **mélange des eaux du socle et des altérites** est très probable. Ce qui pourrait expliquer en partie la variabilité de concentrations de Fe1 " Source Philippe" et de F1 "SNCF". Par contre l'évaluation des proportions de mélange reste difficile à préciser en l'absence d'échantillons statistiquement représentatifs des schistes et surtout des altérites.

- Les **apports d'eau superficielle** mis en avant pour expliquer la variabilité des concentrations observées sur F1 "SNCF" [5] ne résiste pas à une analyse détaillée des données. Les eaux de F1 "SNCF" présentent une signature plutôt de 'socle' comme beaucoup d'autres ouvrages de la région, avec comme eux une certaine variabilité. Les observations physico-chimiques et hydrauliques en pompage ne montrent aucun indice de présence d'eau de surface.

- **L'âge des eaux** dans les formations aquifères du socle et des altérites serait de 20 à 50 ans.

- Les **eaux récentes** qui selon le LADES participeraient à l'alimentation de F1 "SNCF" à raison de 35% à 45 % ne sont pas des eaux de surface. Ces eaux proviennent de secteurs de socle granitique et de cornéennes proches à la faveur de fracturations majeures favorisant des écoulements plus rapides. Les eaux plus anciennes proviennent d'écoulements plus lents et plus distants depuis les massifs granitiques au Nord et qui suivent l'axe de la dépression en amont du marais

- Les **eaux du forage aux schistes Fe1 " Source Philippe"** proviennent d'écoulements relativement lents et/ou distants issus des bordures du massif au Sud, très probablement en suivant les axes structuraux Sud-Ouest/Nord-Est. Un mélange des eaux des schistes avec celles contenues dans les altérites sembleraient également expliquer la variabilité chimique des eaux pompées et l'âge de 45 ans obtenu par analyse des CFC-SF6. Ceci est très probable en raison de la continuité hydraulique possible entre les schistes et la base des altérites et de l'existence d'effets potentiels de drainage verticale (écoulements lents de haut en bas).

- Les **eaux du marais** ont plusieurs origines mal définies. Elles sont assez minéralisées, ce qui traduit une origine souterraine ou de sub-surface. Elles proviendraient ainsi d'écoulements sub-superficiels au sein des faciès tourbeux et limoneux depuis le bassin versant. Des écoulements préférentiels auraient lieu sur les anciens tracés des ruisseaux qui traversaient le marais dans son centre. La présence de fluor dans les eaux de NP04 tendrait à monter une possible alimentation par les eaux souterraines plus profondes. La part respective que jouent ces eaux dans l'alimentation du marais dépend essentiellement des conditions hydrologiques.

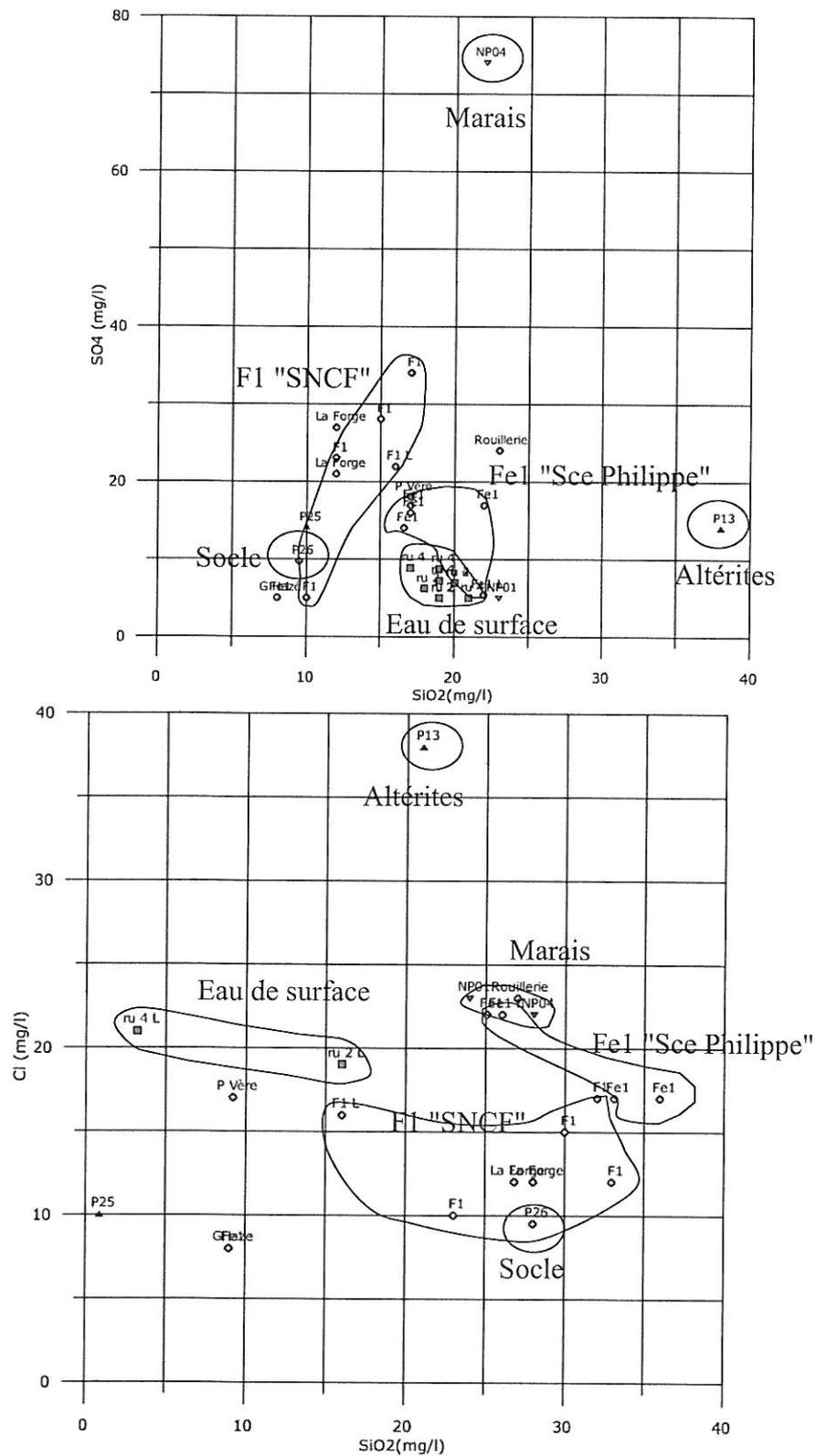


Figure 3 : Caractérisation hydrochimique SO4-SiO2 et Cl-SiO2 des eaux du secteur de marais du Grand Hazé

2.4 Incidences des pompages

Les **essais de pompage** réalisés par le SDE 61 ont permis de suivre les niveaux d'eau sur de nombreux ouvrages environnants.

Les rabattements en fin de pompage sur F1 "SNCF Val du Breuil" en février et mars 2005 s'étendent sur les ouvrages du socle au Nord. Cependant, aucun rabattement n'est observé sur les eaux de surface du marais ni sur les ouvrages situés au Sud du marais.

Le pompage sur Fe1 "Sce Philippe" en mai-juin 2006 montre une incidence sur des ouvrages situés à moins de 500 m, au Nord et au Sud. Aucun rabattement n'est observé sur les eaux de surface du marais.

Les **historiques piézométriques** de 2007 montrent l'absence d'incidence de la mise en exploitation de F2 Val du Breuil sur les niveaux d'eau des piézomètres implantés dans les schistes et les altérites du marais. Il en est de même sur les niveaux des limons et du marais.

2.5 Fonctionnement hydraulique du marais

- Le marais est traversé en permanence par les eaux du ruisseau de la Source Philippe qui alimentent des plans d'eau. Ces plans d'eau se vidangent principalement dans le fossé de l'observatoire vers le ruisseau du Val du Breuil.

- Une partie des eaux du marais transite en permanence vers l'aval dans les formations superficielles sous le remblai de la voie ferrée.

En hautes eaux

- En période de crue, environ 80% du débit du ruisseau de la Source Philippe alimente le marais en amont de la voie ferrée.

- En situation d'excédent hydrique (position haute du marais), le marais restitue par ses exutoires vers le ruisseau du Val du Breuil un débit dépassant celui des apports superficiels qui l'alimentent (ruisseau de la Source Philippe). Ainsi, ces excédents ont été estimés entre 130 et 260 l/s entre août 2006 et novembre 2008.

Ces apports complémentaires sont expliqués principalement par des **écoulements sub superficiels** au sein des faciès tourbeux et limoneux en provenance du bassin versant du marais.

Une autre **hypothèse** fait intervenir les eaux souterraines des altérites et du socle. L'importance qu'elles peuvent prendre dans l'alimentation du marais dépend des perméabilités des altérites et de celles des limons bleus. En théorie, avec des perméabilités de limons de 10^{-7} m/s, on peut expliquer des flux potentiels ascendants depuis les altérites compris entre 200 et 300 l/s pour une différence de charge de 1 m.

La réalité de l'alimentation du marais en hautes eaux se situe probablement entre ces deux hypothèses, en fonction de la situation hydrologique.

Un enregistrement de niveaux d'eau dans les limons et la tourbe sur le site de P25/P26 couplé à des analyses chimiques permettrait de préciser ce fonctionnement.

En période de basses eaux

- En période d'étiage, l'intégralité du débit du ruisseau de la Source Philippe alimente le marais.

Il devient la principale alimentation du marais.

- En situation de déficit hydrique, les débits sortant du marais sont équivalents aux débits du ruisseau de la Source Philippe.

Cette observation est compatible avec celles réalisées sur les niveaux des limons. Les limons sont en effet largement dénoyés, voire totalement à certains endroits du marais lors d'étiages marqués. La situation est expliquée par l'absence ou la baisse importante des écoulements sub-superficiels et celle de la nappe dans les altérites.

- Une partie des eaux du marais transitent vers l'aval au travers des formations superficielles situées sous le remblai de la voie ferrée. Les débits sont estimés en étiage entre 40 et 50 l/s, soit 2 mm/j sur la superficie du marais (2 km²). Si la dépression hydraulique à laquelle sont soumis les limons se traduit effectivement par des transferts de flux descendants, les écoulements peuvent atteindre 100 à 200 l/s, soit 4 mm à 9 mm par jour pour une perméabilité des limons et des altérites de 10⁻⁷ m/s.

- On peut donc poser judicieusement la question de la pertinence et du rôle joué par le colmatage récent des brèches des berges du ruisseau de la Source Philippe qui assuraient une part importante de l'alimentation en eau du marais.

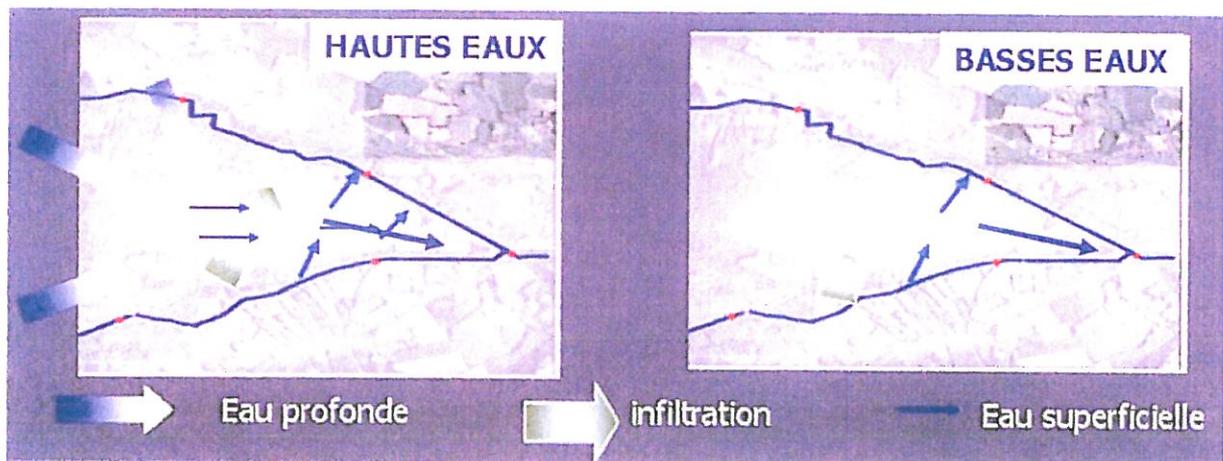


Figure 4 : Schéma de fonctionnement du marais (source : Romaneix 2008 [6])

2.6 Fonctionnement hydrogéologique

Le fonctionnement hydrogéologique obtenu confirme les observations faites antérieurement par le SDE 61 [10]:

- **L'alimentation des aquifères** se fait de manière prépondérante à partir des massifs granitiques, des affleurements de cornéennes et de schistes tachetés. Les écoulements souterrains dans ces formations présentent des vitesses tributaires de l'importance de la fracturation. Ces écoulements peuvent être très rapides et provenir des massifs proches, ce qui explique la présence d'eaux récentes dans le forage F1 "SNCF Val du Breuil". Une partie des écoulements suit l'axe de la dépression du Houleme au sein des cornéennes et des schistes et peut se déplacer sur de plus grandes distances, entraînant des temps de séjour beaucoup plus longs.

- **Les apports** sur le secteur Nord (forage F1 "SNCF Val du Breuil") proviennent très certainement du massif granitique d'Athis, tandis que le secteur Sud (forage Fe1 "Source Philippe") est alimenté préférentiellement par le massif granitique de La Ferté Macé.

- Les écoulements qui suivent l'axe de la dépression peuvent localement passer en charge sous les terrains d'altération plus ou moins argileux, comme sur le site du marais. Ces terrains d'altération plus poreux jouent un rôle de stockage plus ou moins important (Figure 2).

- Les schistes font l'objet d'une alimentation secondaire par infiltration directe dans l'axe de la dépression du Houlme en amont du marais, principalement sur les secteurs les moins altérés.

2.7 Conclusion

L'étude détaillée des observations précédemment réalisées permet d'avancer les éléments suivants :

- les terrains superficiels présents sous le marais que sont les limons bleus, sont bien de nature argileuse, avec des perméabilités faibles ;
- il existe bien une influence des fluctuations des niveaux d'eau des formations profondes sur les niveaux des terrains superficiels sous le marais (limons bleus) et ces influences suivent les fluctuations naturelles ;
- les eaux souterraines des forages F1 "SNCF", Fe1 "Ru Source Philippe" et F3 "Grand Hazé" présentent des signatures de socle et aucun indice de présence d'eau de surface. Le forage F2 est alimenté par des eaux en provenance des massifs granitiques et non par des eaux de surface,
- il n'existe aucun indice permettant de conclure à une incidence des pompages des forages existants sur les niveaux d'eau du marais : dans l'état des connaissances cette incidence paraît négligeable.

3

RESULTATS DES INVESTIGATIONS COMPLEMENTAIRES ET DE LA MODELISATION

3.1 Prospection géophysique

Afin de comprendre le mode d'écoulement des eaux en aval du marais et le rôle éventuel d'un "verrou" hydraulique constitué par les structures géologiques de terminaison de synclinal, une campagne de mesures géophysique par panneaux électriques a été réalisée dans le secteur de Briouze.

Trois profils géophysiques orientés N-S ont été mis en œuvre afin de recouper perpendiculairement l'éventuelle paléo-vallée (Figure 5) Les profils sont d'une longueur de 320 m (profils 1 et 2) à 480 m (profil 3).

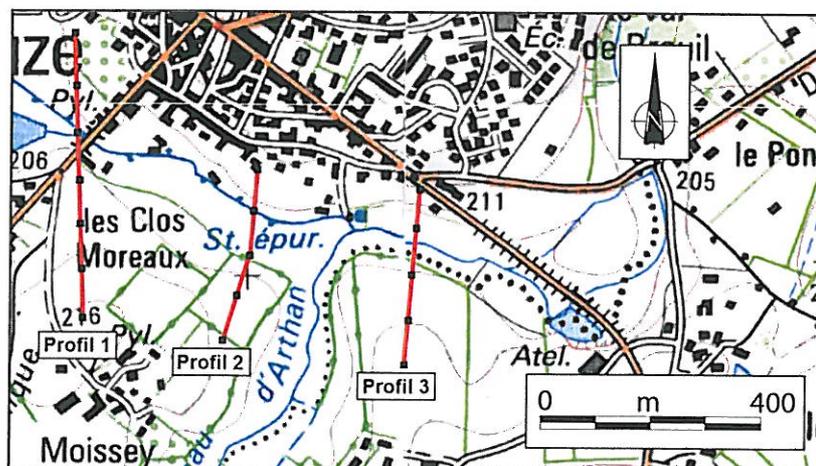


Figure 5 : Localisation des profils géophysiques sur fonds IGN au 1/25 000

Les profils obtenus (Figure 6) montrent une structure relativement complexe avec des valeurs de résistivités électriques très variables couvrant une gamme relativement étendue. L'interprétation des résistivités semble indiquer l'existence d'une paléo-vallée comblée de paléo-alluvions. Ces

matériaux ne présentent cependant pas une résistivité très élevée caractéristique d'un matériel géologique grossier, perméable, et donc favorable aux écoulements souterrains. Ceci n'est dans les faits pas étonnant puisque les formations géologiques constituant et environnant le bassin du Marais de Grand Hazé sont plutôt propices à la fourniture d'alluvions fines à très fines. Il semble donc peu probable que cette paléo-vallée joue un rôle important dans l'évacuation des eaux de la cuvette du Marais. L'exutoire principal semble donc être le ru du Val de Breuil.

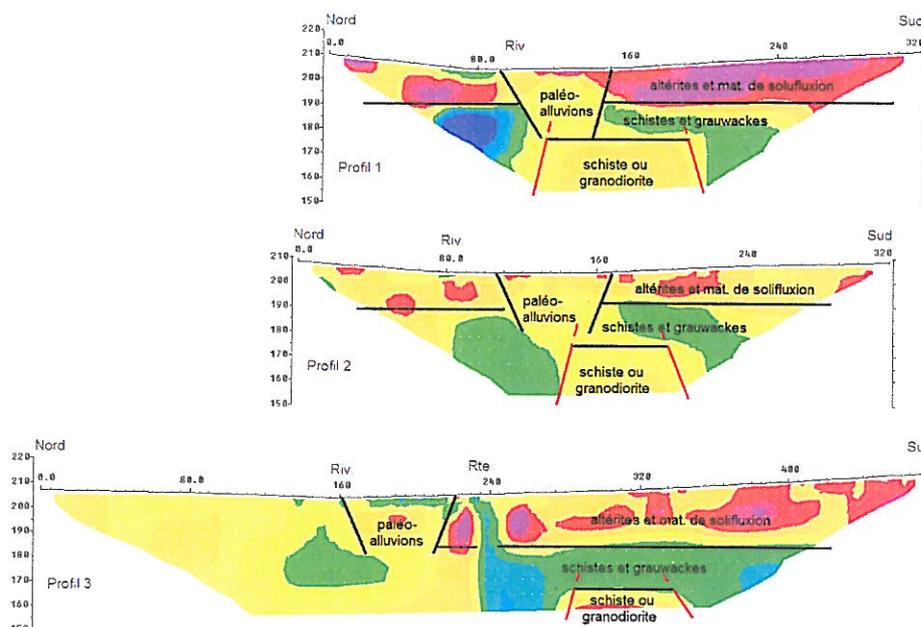


Figure 6 : Interprétation géologique des profils géophysiques

3.2 Analyses isotopiques

Dans la nature, de nombreux éléments chimiques ont deux, voire plus, isotopes. On parle d'isotopes lorsqu'un même élément peut avoir un nombre différent de neutrons dans son noyau. L'élément chimique oxygène a trois isotopes stables (c'est-à-dire non radioactifs) : ^{16}O , ^{17}O et ^{18}O . L'élément chimique hydrogène a deux isotopes stables, ^1H et ^2H (appelé deutérium) et un isotope radioactif, ^3H (appelé tritium). La molécule d'eau H_2O peut ainsi contenir n'importe lesquels de ces isotopes.

L'analyse par spectrométrie de masse permet de quantifier la proportion de chaque isotope stable dans un échantillon d'eau. Le paramètre δ représente l'abondance relative de cet isotope dans l'échantillon d'eau par rapport à son abondance moyenne dans une eau de référence mondiale (SMOW = Standard Mean Ocean Water). Pour les isotopes radioactifs, la mesure s'effectue par comptage de l'émission de radiation. Les résultats concernant l'isotope naturel tritium s'expriment en unités tritium (UT) représentant 1 atome de ^3H pour 1018 atomes d'hydrogène (^1H et ^2H).

Dix échantillons d'eau ont été prélevés dans l'Etang de Grand Hazé et sur des forages et piézomètres pour analyse isotopique. Ont été analysés le deutérium (^2H) et l'oxygène 18 sur tous

les échantillons et le tritium (^3H) sur les deux forages profonds étudiés. Les résultats obtenus sont présentés au tableau ci-après.

| | $\delta^{18}\text{O}$ (‰ / SMOW) | $\delta^2\text{H}$ (‰ / SMOW) | ^3H (UT) |
|-------------|--------------------------------------|-----------------------------------|----------------------|
| Etang – P7 | -3.99 | -29.84 | |
| Etang – P17 | -3.72 | -25.97 | |
| F2 – SNCF | -7.02 | -45.28 | 2.4 |
| P2 – F1 | -6.83 | -44.24 | <1 |
| P3 – F2 | -6.85 | -44.04 | |
| P13 | -6.48 | -41.93 | |
| P16 | -6.53 | -41.13 | |
| P18 | -6.89 | -43.74 | |
| P25 | -6.7 | -43.62 | |
| P26 | -6.62 | -43.22 | |

Tableau 1 : Signature isotopique des eaux superficielles et souterraines

Les données d'oxygène 18 et de deutérium peuvent être mises en graphique.

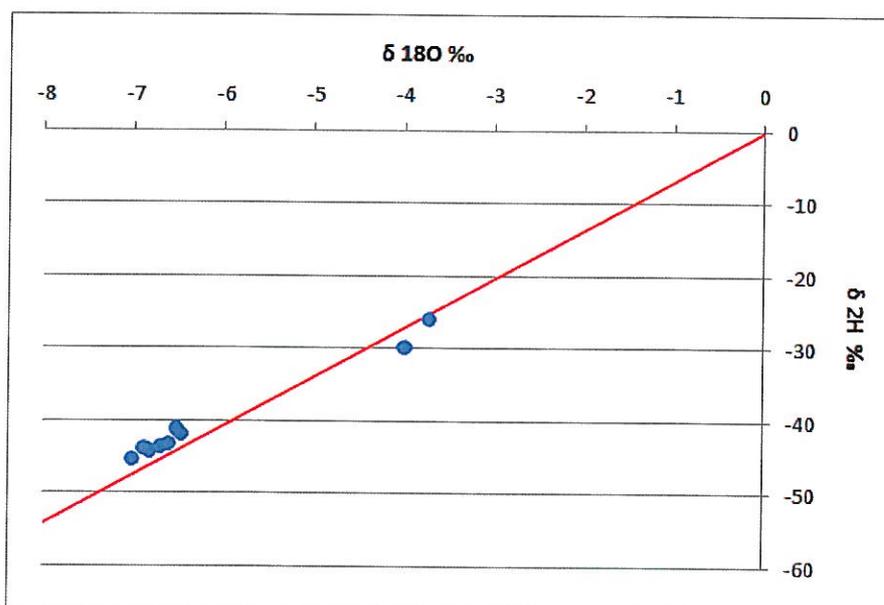


Figure 7 : Distribution des résultats des analyses isotopiques et Droite Météorique Mondiale d'équation $\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$.

Il existe une relation linéaire entre les rapports isotopiques de l'oxygène et de l'hydrogène induite par la thermo-dépendance des fractionnements isotopiques dans les masses d'air (Friedman 1953 et Craig 1961). Cette Droite Météorique Mondiale (DMM ou Global Meteoric Water Line) a pour équation: $\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + d$ avec $d =$ excès en deutérium.

La pente de 8 est déterminée par le rapport entre les facteurs de fractionnement à l'équilibre du ^{18}O et du ^2H . L'excès prend généralement la valeur de 10‰, valeur fréquente pour les stations soumises à un régime de perturbations océaniques simples (Craig, 1961) et typique des masses d'air atlantiques.

Les résultats obtenus sont pour la plupart situés sur ou au voisinage de la DMM. Ce fait indique que les eaux ne semblent pas avoir subi l'effet de processus modifiant leur composition isotopique, tel par exemple une évaporation. Deux groupes d'eau s'identifient nettement. Les eaux

superficielles présentent des valeurs d'environ -4‰ en $\delta^{18}\text{O}$ et -30‰ en $\delta^2\text{H}$, alors que les eaux souterraines présentent des valeurs d'environ -7‰ en $\delta^{18}\text{O}$ et -45‰ en $\delta^2\text{H}$.

Ces dernières valeurs sont représentatives de la signature moyenne des eaux des masses d'air atlantiques. Ceci indiquerait que les eaux souterraines résultent d'un mélange des eaux précipitées ayant peu subi d'évaporation durant leur infiltration. Par ailleurs, les compositions isotopiques de ces eaux étant très semblables (malgré des profondeurs et des localisations différentes), on peut en conclure qu'elles ont toute la même origine et qu'il n'y a pas de compartimentations de l'aquifère. Les eaux superficielles présentent des valeurs très différentes typiques des eaux précipitant durant la période estivale. L'échantillonnage ayant eu lieu au mois d'octobre, suite à un été déficitaire, la composition des eaux échantillonnées dans le plan d'eau serait donc proche de celle des précipitations du mois d'octobre.

La signature différente des deux types d'eau (eaux superficielles et eaux souterraines) indique une absence d'alimentation de l'Etang par les eaux souterraines dans la période d'échantillonnage. Par ailleurs, aucun des ouvrages ne montrant une signature différente des autres eaux souterraines, en particulier le captage AEP en fonctionnement, ces résultats indiquent que les eaux de l'Etang ne contribuent pas ou de façon faible à l'alimentation de la nappe.

Les résultats des analyses isotopiques du deutérium et de l'oxygène 18 montrent ainsi une relative indépendance des eaux superficielles de l'Etang et des eaux souterraines de la nappe sollicitée par les différents captages AEP, agricoles ou domestiques.

La signature isotopie radioactive de l'hydrogène et de l'eau provient d'une origine naturelle (production de tritium dans l'atmosphère) ou artificielle (entre autres due aux essais atomiques superficiels des années '60). Actuellement, la concentration en tritium dans les précipitations est d'environ 5UT. Des teneurs comprises entre 2 et 10 U.T. correspondent à des eaux post-nucléaires (> '60) plus ou moins mélangées à une eau ancienne. Des teneurs très faibles sont celles d'une eau infiltrée avant les essais thermo-nucléaires (il ne subsiste plus que 0,5 U.T. après 42 ans dans une eau primitivement à 5 U.T.); c'est le cas de nombreux aquifères profonds.

Les analyses réalisées montrent que le captage AEP actuel (SNCF) comporte une partie d'eau récente (présence de tritium), alors que le forage du Ru Source Philippe montre une absence de tritium indiquant des eaux anciennes. Les eaux de ce dernier ouvrage ne participeraient pas ou peu à l'écoulement. Les eaux récentes identifiées dans le captage SNCF sont vraisemblablement des eaux arrivant des versants ayant quelques années. Il n'est cependant pas possible d'en déterminer un âge plus précis.

3.3 Modèle numérique d'écoulements souterrains

3.3.1 Validation du modèle

Un modèle d'écoulement des eaux souterraines en régime permanent a été développé à partir de la synthèse des connaissances et des paramètres mesurés sur le site. Aucun calage ni ajustement du modèle n'a été effectué. Les rabattements simulés dans l'aquifère avec ce modèle pour différents débits appliqués aux forages de Val de Breuil et Ru Source Philippe sont cohérents avec les

rabattements observés lors des différents essais de pompage sur cet ouvrage (Tableau 2 et Figure 8). Cette concordance atteste de la conformité et validité hydrodynamique du modèle.

| Débit simulé | Débit testé | Rabattement simulé | Rabattement observé |
|-------------------------------------|-------------|--------------------|---------------------|
| Forage de Val de Breuil | | | |
| 1600 | | 10 | |
| | 2400 | | 13 |
| 3000 | | 20 | |
| | 3500 | | 22 |
| Forage du Ru Source Philippe | | | |
| 1000 | | 6 | |
| | 1145 | | 7 |

Tableau 2 : Comparaison des rabattements simulés et observés

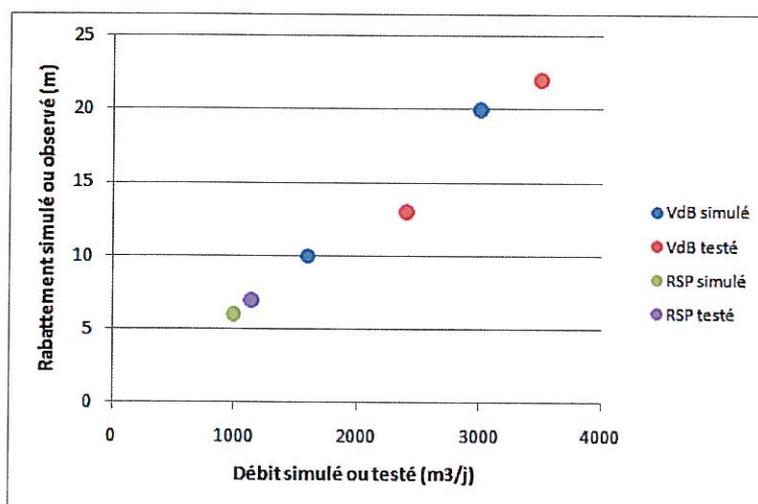


Figure 8 : Comparaison des rabattements simulés et observés

3.3.2 Synthèse des principaux résultats simulés

Les tableaux suivants synthétisent les principaux résultats des simulations.

| Recharge | Pompage (m3/j) | Apport de marais (m3/j) | Fraction du débit pompé |
|---|----------------|-------------------------|-------------------------|
| Annuelle normale | 300 | 0 | |
| | 1600 | 0 | |
| | 3000 | 15,3 | 0,5% |
| Annuelle déficitaire | 300 | 0 | |
| | 1600 | 0 | |
| | 3000 | 21,6 | 0,7% |
| Saisonnaire année normale (fin de BE) | 300 | 1,4 | 0,5% |
| | 1600 | 5,4 | 0,3% |
| | 3000 | 105 | 3,5% |
| Saisonnaire année déficitaire (fin de BE) | 300 | 2,3 | 0,8% |
| | 1600 | 9,2 | 0,6% |
| | 3000 | 125 | 4,2% |

Tableau 3 : Impact simulé d'un prélèvement sur le forage de Val de Breuil

| Recharge | Pompage (m3/j) | Apport de marais (m3/j) | Fraction du débit pompé |
|---|----------------|-------------------------|-------------------------|
| Annuelle normale | 2 x 1600 | 0 | |
| | 2 x 3000 | 21,0 | 0,4% |
| | 3000 + 1000 | 15,4 | 0,4% |
| Annuelle déficitaire | 2 x 1600 | 21,6 | 0,7% |
| | 2 x 3000 | 30,8 | 0,5% |
| | 3000 + 1000 | 21,6 | 0,5% |
| Saisonnaire année normale (fin de BE) | 2 x 1600 | 5,5 | 0,2% |
| | 2 x 3000 | 196 | 3,3% |
| | 3000 + 1000 | 105 | 2,6% |
| Saisonnaire année déficitaire (fin de BE) | 2 x 1600 | 9,5 | 0,3% |
| | 2 x 3000 | 230 | 3,8% |
| | 3000 + 1000 | 127 | 3,2% |

Tableau 4 : Impact simulé de prélèvements sur les forages de Val de Breuil et Ru Source Philippe

| Recharge | Pompage (m3/j) | Apport de marais (m3/j) | Fraction du débit pompé |
|---|--------------------|-------------------------|-------------------------|
| Annuelle normale | 2 x 1600 + 8 x 300 | 3,6 | < 0,1% |
| | 2 x 3000 + 8 x 300 | 103 | 1,2% |
| Annuelle déficitaire | 2 x 1600 + 8 x 300 | 5,6 | < 0,1% |
| | 2 x 3000 + 8 x 300 | 136 | 1,6% |
| Saisonnaire année normale (fin de BE) | 2 x 1600 + 8 x 300 | 108 | 2,0% |
| | 2 x 3000 + 8 x 300 | 400 | 4,8% |
| Saisonnaire année déficitaire (fin de BE) | 2 x 1600 + 8 x 300 | 140 | 2,5% |
| | 2 x 3000 + 8 x 300 | 465 | 9,7% |

Tableau 5 : Impact simulé de prélèvements sur les forages de Val de Breuil, Ru Source Philippe et les ouvrages agricoles et domestiques

3.3.3 Comparaison aux flux naturels de sortie du Marais

L'évapotranspiration potentielle moyenne des 7 dernières années (station de Flex) est de 681 mm/an. L'étude de Romaneix (2008) mentionnait une valeur de 750 mm/an évaluée à partir des stations de Briouze, Messei et La Coulonches. Pour les trois mois d'été, l'évapotranspiration potentielle est d'environ 360 mm (station de Flex).

La surface du marais étant évaluée à environ 2 km² (2 km² selon Romaneix; 200 ha selon la CC Pays de Briouze; 167 ha selon le site Natura 2000), la perte évaporatoire est donc :

- durant l'année de 681 mm * 2 km², soit 1 360 000 m³ (sur les trois mois d'été), soit 3 730 m³/j.
- durant l'été de 360 mm * 2 km², soit 720 000 m³ (sur les trois mois d'été), soit 7 826 m³/j.

Romaneix a mesuré le débit sortant au niveau du ruisseau (station NS09) en juillet 2007 à des valeurs de 130 à plus de 200 l/s, soit des valeurs de l'ordre de 11 230 à plus 17 280 m³/j.

Le volume d'eau présent dans le marais est quant à lui plus difficile à évaluer. Si l'on considère que la hauteur moyenne d'eau varie entre 1 et 3 m, le volume total varierait entre 2 et 6 Mm³.

Ces chiffres permettent donc de mettre en perspective les débits de prélèvement par les forages et les apports soutirés du Marais qui demeurent donc négligeables à faibles.

3.3.4 Conclusion

Les simulations réalisées avec le modèle en régime permanent développé à partir de la synthèse des connaissances et des paramètres mesurés ont montré que :

- les prélèvements sur le forage de Val de Breuil engendrent un impact piézométrique vers le nord et l'est tel qu'observé par l'assèchement du puits de la ferme du Hazé ; au débit de 300 m³/j le rabattement moyen est de 40 cm et passe à 2 m au débit de 1600 m³/j ;
- les débits de prélèvements appliqués sur le forage du Val de Breuil n'impactent par contre pas ou très peu le Marais de Grand Hazé, y compris pour le débit maximal initialement recommandé de 3000 m³/j pour le forage de Val de Breuil ;
- dans ce dernier cas (débit maximal recommandé de 3000 m³/j), le soutirage d'eau depuis le marais ne représenterait qu'à peine 1/3 % du débit pompé, soit de l'ordre de 11 m³/j ;
- la mise en place d'un second captage dans la zone du marais n'impacterait pas plus celui-ci, le prélèvement n'atteignant que 16 m³/j pour des prélèvements d'eau souterraine cumulant 6000 m³/j, soit à peine 1/4 % de ce débit de prélèvement total.

Les simulations réalisées avec le modèle en régime transitoire ont montré des impacts un peu plus marqués durant les années déficitaires et en fin de période de basses eaux, surtout dans le cas peu probable de prélèvements cumulés très élevés et très supérieurs aux débits actuellement pratiqués. Les apports d'eau en provenance du Marais pourraient alors atteindre quelques % du débit total de prélèvement sur les ouvrages.

Les prélèvements simulés sur le Marais demeurent cependant négligeables par rapport aux flux d'eau évaporés de la surface du Marais (qui varient entre 3 730 et 7 830 m³/j) et aux débits naturels de sortie du Marais évalués en étiage de 11 230 à plus de 17 280 m³/j (les deux flux naturels cumulant 20 000 à 25 000 m³/j en étiage).