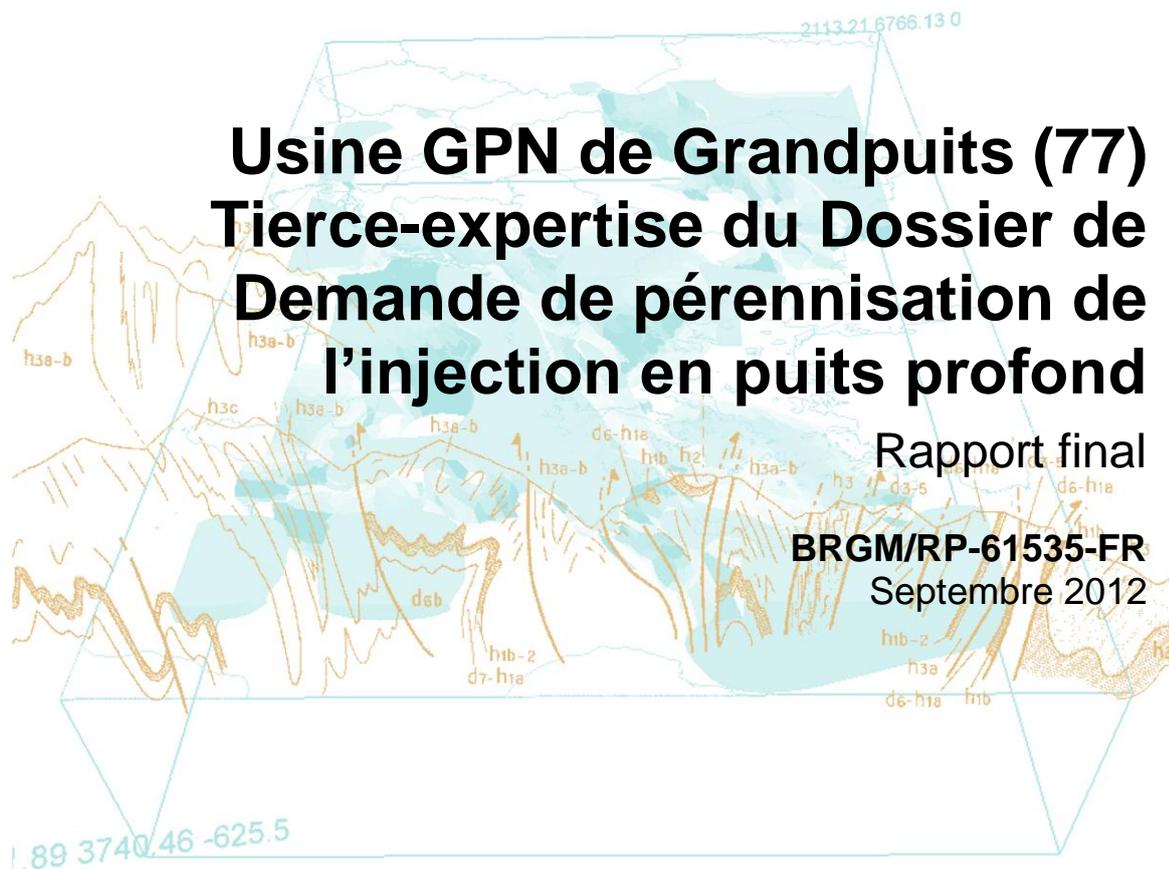


Accès différé



Usine GPN de Grandpuits (77) Tierce-expertise du Dossier de Demande de pérennisation de l'injection en puits profond

Rapport final

BRGM/RP-61535-FR

Septembre 2012



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Accès différé

Usine GPN de Grandpuits (77) Tierce-expertise du Dossier de Demande de pérennisation de l'injection en puits profond

Rapport final

BRGM/RP-61535-FR

Septembre 2012

Ph. Blanc, G. Boissard, B. Chevrier, O. Goyeneche, D. Hubé, I. Ignatiadis,
E. Limasset, A. Neveux

Vérificateur :

Nom : L. Rouvreau

Date :

Signature :

Approbateur :

Nom : L. Closset

Date :

Signature :

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.

Avertissement :

Le tirage initial de ce rapport, en nombre fixé par convention, est diffusé à son commanditaire. Sa communicabilité ultérieure à des tiers est liée à la prise d'une décision administrative formelle à laquelle il concourt, conformément à la loi n° 78-753 du 17 Juillet 1978. *Passé ce délai, ce rapport devient communicable à tout tiers extérieur qui en ferait la demande ; le BRGM ne peut plus être tenu comme responsable de l'usage qui pourrait en être fait et des éventuelles conséquences pouvant en résulter.*

Mots clés : injection, effluents, puits, Dogger, hydrogéologie, modélisation, surveillance, impacts, risques, complétion, corrosion.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Ph. Blanc, G. Boissard, B. Chevrier, O. Goyeneche, D. Hubé, I. Ignatiadis, E. Limasset, A. Neveux (2012) – Usine GPN de Grandpuits (77).Tierce-expertise du Dossier de Demande de pérennisation de l'injection en puits profond. Rapport final. Rapport BRGM/RP-61535-FR.

Synthèse

La société GPN exploite depuis 1971, sur son site de Granpuits (77), un puits de réinjection d'effluents industriels dans la nappe du Dogger. Réglementairement, l'exploitation de ce puits est soumise à autorisation. La société GPN a déposé en 2012 un dossier de renouvellement de l'autorisation d'exploiter ce puits auprès des services de l'Etat.

A la demande de la DRIEE, le BRGM a réalisé une tierce-expertise de ce dossier. Cette expertise a consisté à détecter, eu égard à la réglementation et aux règles de l'art, les conformités, les manques et les incertitudes du dossier. Les points techniques traités à la demande de la DRIEE sont les suivants :

1. Pertinence et actualisation des données prises en compte dans la description du Dogger ;

Sur ce point, suites aux compléments apportés par GPN à la demande du BRGM, les données prises en compte pour la description du contexte hydrogéologique (y compris Dogger) sont pertinentes et suffisamment récentes.

2. Pertinence de la modélisation de l'impact de la réinjection sur la qualité du Dogger et validité des résultats, y compris modèle géologique et hydrogéologique ;

Suite aux compléments apportés par GPN à la demande du BRGM, et plus particulièrement l'étude de sensibilité, on peut considérer que les résultats de la modélisation de l'impact de la réinjection sur la qualité des eaux du Dogger sont pertinents, même si certains points auraient pu être mieux explicités.

3. Evolution des caractéristiques physico-chimiques de la nappe du Dogger au sein du bulbe de réinjection ;

Pour cette évaluation, l'utilisation d'un modèle de type transport réactif aurait été souhaitable, car correspondant aux meilleures techniques actuelles. Néanmoins, compte tenu des réponses apportées par GPN, les calculs réalisés permettent bien d'évaluer l'évolution des caractéristiques de la nappe du Dogger au sein du bulbe.

4. Influence de l'évolution de la quantité réinjectée et de la qualité des effluents sur la qualité de la nappe du Dogger ;

Les conclusions du dossier concernant ce point, au regard des documents initiaux et des compléments apportés, sont acceptables.

5. Pertinence du dispositif de suivi de la qualité des nappes en présence au droit du site, y compris étude hydrogéologique du site (nappes en présence, usages, sensibilités) ?

L'étude hydrogéologique initiale a été complétée suites aux remarques du BRGM. GPN s'engage notamment à suivre la qualité des eaux de deux ouvrages supplémentaires adressés aux Calcaires de Champigny. L'implantation des ouvrages retenus devra être validée par un hydrogéologue agréé. Ce suivi sera complété par celui des calcaires de Brie, actuellement réalisé. Ainsi, les deux aquifères les moins profonds au droit du site seront contrôlés. L'étude de sensibilité produite par GPN à la demande du BRGM montre que la création d'ouvrages de suivi des nappes les plus profondes (Albien, Néocomien, Dogger) implique des coûts importants. GPN considère que la réalisation d'ouvrages adressés à ces aquifères n'est pas pertinente et insiste sur le suivi de la pression du fluide annulaire du puits comme élément pertinent de détection d'une fuite potentielle. Une variation de pression de ce fluide peut effectivement indiquer une communication entre celui-ci et un aquifère. Toutefois, il faut préciser que l'identification de l'aquifère concerné ne peut se faire qu'après mise en équilibre des pressions des eaux de cet aquifère et du fluide annulaire, ce qui nécessite de pouvoir déterminer les niveaux piézométriques des nappes au droit du site.

6. Dispositions proposées pour la gestion de pollutions accidentelles et de contaminations éventuelles des nappes, vis-à-vis d'une fuite d'effluents ou d'une fuite de fluide annulaire ;

Les dispositions prises sont globalement pertinentes mais incomplètes. Notamment, la gestion des eaux issues des ouvrages de fixation n'est abordée ni dans le dossier initial, ni dans les compléments demandés par le BRGM à ce sujet. Or, ce point représente une étape non négligeable de la stratégie de gestion d'une pollution accidentelle. Il semblerait pertinent que GPN établisse un plan de gestion complet et détaillé d'un événement accidentel (localisation, coupes techniques des ouvrages de fixation, techniques de forage, système de pompage, dispositifs de stockage et de traitement des eaux, exutoire des eaux traitées).

7. Impact du traitement (neutralisation du pH) des effluents sur la corrosion de l'équipement du puits ;

Concernant ce point, les compléments apportés par GPN sont pertinents. Le changement de traitement des effluents ne semble pas avoir d'effet sur la corrosion des tubes du puits, sous réserve que les conditions physico-chimiques (pH) soient bien maîtrisées et contrôlées, et soient maintenues dans une gamme précise.

8. Suivi de l'évolution de l'équipement du puits (tubing) et proposition de fréquence de renouvellement ;

Le suivi actuellement réalisé est pertinent et suffisant pour juger de l'état des équipements du puits et du renouvellement de ceux-ci. Néanmoins, il serait intéressant de réaliser une diaggraphie annuelle du forage.

Sommaire

1	Contexte de l'expertise	9
1.1	INTRODUCTION.....	9
1.2	PRINCIPES DE L'EXPERTISE.....	9
1.3	PIECES DU DOSSIER D'EXPERTISE	10
1.4	REUNIONS	12
2	Qualité et pertinence de l'étude hydrogéologique.....	13
2.1	CADRE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE REGIONAL	13
2.2	AVIS BRGM SUR LE CONTEXTE REGIONAL	14
2.3	SYNTHESE DES CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES DES AQUIFERES ETUDIES DANS LE DOSSIER	15
2.4	PIEZOMETRIE ET SENS D'ECOULEMENT DES NAPPES ETUDIEES.....	16
2.5	SYNTHESES DES BILANS ET VITESSES D'ECOULEMENT DES NAPPES ETUDIEES DANS LE DOSSIER	18
2.6	SYNTHESE DE LA GEOCHIMIE DES NAPPES ETUDIEES DANS LE DOSSIER	19
2.7	AVIS DE L'EXPERT SUR L'ETUDE HYDROGEOLOGIQUE	21
3	Pertinence de la modélisation de l'influence de l'injection sur les caractéristiques physico-chimiques de la nappe du Dogger et des aquifères sus-jacents	25
3.1	LES TRANSFERTS ENTRE NAPPES HORS INJECTION.....	25
3.1.1	Principe de l'étude.....	25
3.1.2	Avis du BRGM :.....	26
3.2	LES TRANSFERTS ENTRE NAPPES AVEC INJECTION	28
3.2.1	Principe de l'étude.....	28
3.2.2	Avis du BRGM :.....	28
3.3	EVOLUTION DES CARATERISTIQUES GEOCHIMIQUES DU DOGGER AU SEIN DU BULBE DE REINJECTION.....	30

3.3.1 Impact des effluents utilisés.....	30
3.3.2 Influence de la quantité et de la qualité des effluents sur la nappe du Dogger	32
3.3.3 Impact de l'injection de substances dangereuses.....	33
3.4 IMPACT THERMIQUE SUR LE DOGGER	34
3.5 MODELISATION DES MODES DEGRADES	37
3.5.1 Impact et conséquences d'incidents intervenant au niveau du puits d'injection	37
3.5.2 Impacts liés aux variations de la qualité des effluents liés à des incidents de production.....	40
3.6 EVALUATION DES IMPACTS APRES FERMETURE DU PUIT.....	41
3.7 REMARQUES ET DEMANDES DE PRECISIONS	41
4 Pertinence du suivi de la qualité des nappes en présence au droit du site.....	43
4.1 SYNTHESE DES USAGES DES NAPPES EN PRESENCE	43
4.1.1 Usage des nappes en présence	43
4.1.2 Avis du tiers-expert sur l'usage des nappes en présence	44
4.2 PERTINENCE DU SUIVI DE LA QUALITE DES NAPPES EN PRESENCE	46
4.2.1 Caracterisation des polluants potentiels	46
4.2.2 Dispositif de suivi de la qualité des nappes en présence	47
4.2.3 Avis du tiers-expert sur la pertinence du suivi de la qualité des nappes en présence	49
5 Pertinence des mesures de gestion de pollution accidentelle.....	53
5.1 DISPOSITIONS PROPOSEES POUR LA GESTION DE POLLUTIONS ACCIDENTELLES ET DE CONTAMINATIONS EVENTUELLES EN CAS DE FUITE D'EFFLUENT OU DE FLUIDE ANNULAIRE	53
5.2 AVIS DU TIERS-EXPERT SUR LA LA GESTION DE POLLUTIONS ACCIDENTELLES ET DE CONTAMINATIONS EVENTUELLES.....	55
6 Pertinence du suivi et du renouvellement de l'équipement du puits et de la proposition de fréquence de renouvellement	57
6.1 SUIVI ET RENOUVELLEMENT DE L'EQUIPEMENT	57
6.1.1 Equipement du puits et méthodologie actuelle de suivi.....	57
6.1.2 Observations réalisées lors des opérations de renouvellement ultérieures	58
6.1.3 Proposition de programme de renouvellement de l'équipement du forage	58
6.1.4 Avis du BRGM.....	58

6.2 INFLUENCE DU TRAITEMENT DES EFFLUENTS SUR LA CORROSION DU TUBING.....	59
6.2.1 Qualité actuelle des effluents et proposition de traitement.....	59
6.2.2 Influence du traitement sur la qualité des effluents et la corrosion des tubes	59
6.2.3 Avis du BRGM.....	59
7 Conclusions	61
7.1 AVIS DU BRGM SUR LE DOSSIER INITIAL.....	61
7.2 AVIS DU BRGM SUITE AUX REPONSES DU PETITIONNAIRE	62

1 Contexte de l'expertise

1.1 INTRODUCTION

La société GPN exploite depuis 1971 une usine de production de produits azotés sur la commune de Grandpuits (77). L'exploitation du site est régie par l'arrêté préfectoral d'autorisation du 4 juin 2009 (AP n°09 DAIDD IC 142) et l'arrêté complémentaire du 22 mars 2010 (AP n°10 DAI DD IC 069).

Les effluents les plus salins de l'usine (appelés « eaux usées ») par GPN sont injectés après stabilisation du pH dans la napper du Dogger, profonde de 1 800 m au droit de l'usine. L'injection d'effluents dans les eaux souterraines est notamment régie par l'arrêté ministériel du 10 juillet 1990 modifié en 2005, relatif à l'interdiction du rejet de certaines substances dans les eaux souterraines et par l'arrêté ministériel du 17 juillet 2009 relatif aux mesures de prévention ou de limitation des introductions de polluants dans les eaux souterraines.

L'arrêté ministériel du 10 juillet 1990 modifié en 2005 prévoit, pour les installations antérieures au 04/08/1990, la possibilité d'injecter des effluents dans le milieu souterrain, sous réserve que les eaux réceptrices soient impropres à tout autre usage de façon constante, que l'injection n'entrave pas l'exploitation des ressources du sol et n'atteigne pas d'autres systèmes aquatiques. L'arrêté préfectoral d'autorisation d'injection d'effluents doit être soumis au Conseil supérieur de la prévention des risques technologiques.

La société GPN a déposé auprès de la Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Energie (DRIEE), un dossier de demande de pérennisation de l'injection en puits profond des effluents de l'usine de Grandpuits. La DRIEE a demandé à GPN de faire réaliser une tierce-expertise de ce dossier, afin d'en contrôler la bonne conformité réglementaire.

GPN a missionné le BRGM pour la réalisation de la tierce-expertise de ce dossier. La tierce-expertise consiste en une analyse critique des documents émis par le pétitionnaire et porte sur les domaines qui relèvent des compétences propres au BRGM : sol, sous-sol, eaux souterraines.

1.2 PRINCIPES DE L'EXPERTISE

L'expertise des différents documents par le BRGM consiste en une analyse critique des éléments justifiant des vérifications particulières. Elle consiste à détecter, dans les documents soumis à l'expertise et, eu égard à la réglementation en vigueur et aux règles de l'art :

- Ce qui est conforme ;

- Ce qui manque ;
- Les incertitudes du dossier.

A la demande de la DRIEE de Seine et Marne, la tierce-expertise porte particulièrement sur les points suivants du dossier :

- Pertinence et actualisation des données prises en compte dans la description du Dogger ;
- Pertinence de la modélisation de l'impact de la réinjection sur la qualité du Dogger et validité des résultats, y compris modèle géologique et hydrogéologique ;
- Evolution des caractéristiques physico-chimiques de la nappe du Dogger au sein du bulbe de réinjection ;
- Influence de l'évolution de la quantité réinjectée et de la qualité des effluents sur la qualité de la nappe du Dogger ;
- Pertinence du dispositif de suivi de la qualité des nappes en présence au droit du site, y compris étude hydrogéologique du site (nappes en présence, usages, sensibilités) ;
- Dispositions proposées pour la gestion de pollutions accidentelles et de contaminations éventuelles des nappes, vis-à-vis d'une fuite d'effluents ou d'une fuite de fluide annulaire ;
- Impact du traitement (neutralisation du pH) des effluents sur la corrosion de l'équipement du puits ;
- Suivi de l'évolution de l'équipement du puits (tubing) et proposition de fréquence de renouvellement.

1.3 PIECES DU DOSSIER D'EXPERTISE

L'expertise a porté sur les pièces du dossier de demande de pérennisation et leurs annexes. Les documents concernés par la tierce-expertise figurent en **caractères gras** :

- **Dossier de demande de pérennisation de l'injection en puits profond (GPN, janvier 2012) ;**
- **Usine GPN de Grandpuits. Etude d'incidence pour la gestion des effluents de l'usine GPN de Grandpuits (rapport Burgeap RESIIF0037-12, janvier 2012) ;**

- Etude technico-économique : alternative au rejet en puits profond à l'usine de Grandpuits. Rapport de phases 1 et 2 : collecte des données, définition des hypothèses et étude de faisabilité (rapport Safege, version n°5.0, janvier 2012) ;
- Etude technico-économique : alternative au rejet en puits profond à l'usine de Grandpuits. Rapport de phase 3 : avant-projet sommaire. Canalisation de rejet en Seine (rapport Safege 11NHU056 BERO/SEHD, version 3, janvier 2012) ;
- Etude technico-économique : alternative au rejet en puits profond à l'usine de Grandpuits. Rapport de phase 3 : étude de faisabilité. Maintien du rejet dans le Dogger avec valorisation du flux de l'atelier Ammonitrates (rapport Safege 11NHU056 HEBS/SEHD version V3.0, janvier 2012).

Parmi les annexes du dossier, les documents suivants ont été intégrés aux éléments expertisés :

- **Annexe 1 : valeurs limites des effluents injectés en nappe profonde (AP N°09 DAIDD IC 142, juin 2009) ;**
- **Annexe 2 : rapport quadriennal 2003-2006 ;**
- **Annexe 3 : rapport quadriennal 2007-2010 ;**
- **Annexe 5 : rapport de fin d'opération de GPC de juin 2011 (sans annexes) ;**
- **Annexe 6 : Rapport de synthèse de la surveillance initiale RSDE du site GPN de Grandpuits ;**
- **Annexe 7 : Liste des substances potentiellement pertinentes recherchées dans les produits et résultats des analyses du 14/11/2012 ;**
- **Annexe 8 : Etude de danger injection en puits profond ;**
- **Annexe 9 : Procédure NH3 3/057-E plan d'urgence environnementale puits d'injection profonde ;**
- **Annexe 10 : Procédure NH3-3-060 plan d'urgence environnementale dépollution de la nappe de Champigny.**

La DRIEE ayant jugé incomplet le dossier initialement déposé, les compléments suivants ont été communiqués au BRGM le 29 juin 2012 et intégrés aux documents expertisés :

- **Courrier GPN ref. NL/NCa.12.092 du 22 juin 2012 adressé à la DRIEE en réponse à la demande de compléments au dossier ;**
- **Usine GPN de Grandpuits. Etude d'incidence pour la gestion des effluents de l'usine GPN de Grandpuits (rapport Burgeap RESIIF00376-13, mai**

2012). Version complétée qui annule et remplace l'étude d'incidence initiale de janvier 2012.

Pour les besoins de cette expertise, le BRGM a également consulté les documents suivants :

- Expertise du dossier de demande de renouvellement pour l'injection en nappe profonde – Grandpuits (77) pour le compte de GRANDE PAROISSE (rapport BRGM/RC-51797-FR, 2002) ;
- Complément par rapport à l'expertise RC-51797-FR suite à la réunion du 13/09/02. Courrier référencé EPI/SIS – RC n°2002/601, 10/2002 ;
- Etude de sûreté de l'injection des effluents dans la nappe du Dogger (rapport BURGEAP (2002) R.3491d/A.9049/C301487) ;
- Usine de Grandpuits - Etude hydrogéologique de la nappe des Calcaires de Champigny - Compléments à l'étude de sûreté du puits d'injection (rapport BURGEAP (2003) R04324a/A9049/C3E3588).

1.4 REUNIONS

Une réunion de cadrage de la tierce-expertise s'est tenue le 11 mai 2012 dans les locaux de la DRIEE de Seine et Marne, en présence des représentants de la DRIEE, de GPN, de BUGEAP et du BRGM.

Cette réunion a notamment permis de définir précisément les points du dossier qui devaient être expertisés (voir § 1.2). Le compte-rendu de cette réunion figure en annexe 1 du présent rapport.

2 Qualité et pertinence de l'étude hydrogéologique

La caractérisation du contexte géologique et hydrogéologique figure dans le chapitre A4 du Rapport « Etude d'incidence pour la gestion des effluents de l'usine GPN de Grandpuits - Rapport RESIIF0037-13 – 29/05/2012 », référencé BURGEAP (2012) dans la suite du rapport.

2.1 CADRE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE REGIONAL

Les informations présentées sur la géologie régionale s'appuient sur la Figure 1 – Carte Géologique au 1/2000000, ainsi que sur la Figure 4 - Coupe schématique ouest – est du bassin parisien (source : mémoire du BRGM n°102).

D'après le rapport BURGEAP (2012), le bassin Parisien est constitué d'un ensemble de terrains sédimentaires superposés, qui reposent sur le socle anté-permien, et limité en bordure par des massifs anciens. Le puits d'injection de l'usine GPN Grandpuits est situé légèrement, au sud de la partie la plus profonde du bassin.

Ces terrains sédimentaires sont constitués du haut vers le bas de formations du Tertiaire, du Crétacé, et du Jurassique Supérieur avant d'atteindre le Jurassique Moyen (Dogger). Le Dogger repose sur les formations du Lias et du Trias. Ces terrains sédimentaires sont formés d'une alternance de couches perméables, séparées les unes des autres par des couches imperméables ou semi-perméables.

Les informations sur l'hydrogéologie régionale sont issues de l'analyse de nombreux rapports, notamment : BURGEAP (2010), Lopez et al. (2010), Hamm et al. (2010), Wei H. F. (1990), Mégnien (1979) ainsi que les rapports BURGEAP établis lors de la dernière demande d'autorisation d'injection en 2002.

Huit aquifères sont comptées entre le Dogger et la surface : Le Tertiaire, la Craie, les Sables verts, le Néocomien/Portlandien, le Lusitanien, le Dogger et le Lias inférieur à Trias. Seuls les aquifères suivants, listés du bas vers le haut, sont pris en compte dans la présente étude :

- Aquifère du Dogger (Jurassique Moyen), série calcaire formant une cuvette dont l'épaisseur moyenne est de 200 m. Son épaisseur est maximale sous le plateau de Brie où elle atteint 400 m. Il contient une nappe d'eau chaude et salée fortement exploitée pour la géothermie en région Ile-de-France ;
- Aquifère du Lusitanien (Jurassique Supérieur), série calcaire entrecoupée de sables et de grès. L'épaisseur moyenne de la série est de 200 m. Son exploitation est actuellement en développement pour la géothermie ;

- Aquifère du Néocomien (Crétacé), succession de niveaux sableux séparés par des niveaux argileux (épaisseur jusqu'à 100 m). La nappe contenue dans cet aquifère constitue une importante réserve ressource d'eau douce stratégique qui est contrôlée ;
- Aquifère de l'Albien (dit aquifère des sables verts, Crétacé Inférieur), alternance de niveaux sableux et argileux non isolés, dont l'épaisseur moyenne est de 70 m. Il est exploité pour l'alimentation en eau potable. C'est une ressource stratégique rigoureusement contrôlée, qui fait l'objet d'un développement pour la géothermie très basse température utilisant des pompes à chaleur ;
- Aquifère des Calcaires de Champigny (Tertiaire), succession de niveaux calcaires séparés par des intercalations marneuses et argilo-marneuses. Son épaisseur maximale est de 70 m. Principale nappe d'île de France, elle est largement exploitée pour l'alimentation en eau potable, en eau agricole et industrielle, notamment dans le sud-est du bassin (zone d'étude);
- Aquifère des Calcaires de Brie (Tertiaire), formation calcaire, de perméabilité médiocre entre la Marne et la Seine, de 5 à 7 m d'épaisseur. Cette nappe est très vulnérable aux pollutions de surface.

L'aquifère du Portlandien et l'aquifère de la Craie (sous recouvrement tertiaire) sont considérés par les auteurs comme semi perméables et non pris en compte dans le rapport BURGEAP 2012.

2.2 AVIS BRGM SUR LE CONTEXTE REGIONAL

Le rapport ne distingue pas la géologie et l'hydrogéologie régionale de la géologie et l'hydrogéologie locale au droit du site, les données disponibles à l'échelle locale étant peu nombreuses.

Par ailleurs, la géologie régionale s'appuie sur une coupe schématique du bassin parisien dont la source, mémoire du BRGM n°102, est non référencée en bibliographie. Il est surprenant de ne pas voir de référence à la carte géologique 1/50 000ème couvrant le site (n°XXIV-15 de Brie Comte Robert).

Les formations semi-perméables ou imperméables qui séparent les aquifères étudiés ne sont mentionnées que brièvement. Pour faciliter la compréhension du contexte régional, il aurait été utile d'avoir un tableau récapitulatif distinguant toutes les formations perméables, semi perméables et non perméables à cette échelle.

Cependant, il est pertinent d'écarter l'aquifère du Portlandien dans l'étude d'incidence. L'aquifère du Portlandien est effectivement généralement considéré comme un horizon semi-perméable, voire imperméable.

Les auteurs mentionnent que «*la Craie est sous recouvrement tertiaire et a donc été protégée des altérations. De ce fait, elle est peu perméable et est donc considérée, au*

droit du site, comme un niveau semi-perméable». La Craie est effectivement considérée comme non productive lorsqu'elle est sous ce recouvrement. D'après le rapport BRGM/RP-53306-FR¹, « *la Craie représente le premier aquifère libre du bassin de la Seine en regard de sa surface d'affleurement et de l'importance de son épaisseur. Par contre, sous les formations tertiaires d'Ile-de-France, la nappe devient captive et peu productive. [...] l'intérêt de la Craie, du point de vue de l'exploitabilité, se situe dans les zones où elle est quasi affleurante et donc plus fracturée».*

La perméabilité de la Craie sous recouvrement Tertiaire peut éventuellement varier d'une zone à l'autre, en fonction de la compaction induite par le recouvrement ou de la présence de fissuration/fracturation. Ainsi, malgré sa faible productivité, la Craie au droit du site pourrait éventuellement agir comme médium de transfert de polluants.

Il aurait été pertinent de valider l'hypothèse des auteurs sur la faible perméabilité de la Craie sous recouvrement Tertiaire, par une analyse bibliographique de ses caractéristiques hydrodynamiques à l'échelle locale (au droit du puits). Une analyse localisée de la présence de fissurations/fracturations serait également pertinente, notamment pour l'évaluation des risques de transferts de polluant entre nappes.

Notons enfin que, selon une étude BRGM (rapport BRGM/R30034), il semble la Craie n'est pas aquifère au droit de la zone d'étude.

2.3 SYNTHÈSE DES CARACTÉRISTIQUES HYDRODYNAMIQUES DES AQUIFÈRES ÉTUDIÉS DANS LE DOSSIER

Aquifère du Dogger

D'après le rapport BURGEAP 2012, peu de données nouvelles ont été acquises depuis 2001 sur les propriétés hydrodynamiques du Dogger en région parisienne. Sur la base d'une analyse bibliographique, les auteurs citent que seulement 20 à 40 mètres de l'aquifère du Dogger sont réellement perméables (Bathonien et Comblanchien).

Des transmissivités moyennes de l'aquifère entre 5.10^{-5} et plus de $7.10^{-4} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$, et de $4,5.10^{-4} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ au droit de Grandpuits, sont avancées sur la base du rapport BRGM/RR-30169-FR² (liées à la porosité inter granulaire et à de la fracturations/dissolution). Une transmissivité de $1.10^{-4} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ a été obtenue au droit du puits suite à un essai d'arrêt injection réalisé en 2011. Les auteurs estiment une perméabilité horizontale moyenne de $5.10^{-6} \text{ m}.\text{s}^{-1}$ (épaisseur productrice de 20m) et un coefficient d'emmagasinement de 1.10^{-5} au droit de l'usine (Wei, 1990).

¹ Schomburgk S., Goyénèche O. et al. (2004) - Guide d'aide à la décision pour l'installation de pompes à chaleur sur nappe aquifère en région Ile-de-France - Atlas hydrogéologique - BRGM/RP-53306-FR

² Rojas J., Giot D., Le Nindre Y.M., Criaud A., Fouillac C., Brach M., Menjoz A., Martin J.C., Lambert M., Chiles J.P., Fouillac A.M., Pauwels H. (1989) – Caractérisation et modélisation du réservoir géothermique du Dogger, Bassin Parisien, France, rapport BRGM R30169.

Aquifère du Lusitanien

Les horizons productifs sont les sables du Séquanien et les calcaires du Rauracien. Les auteurs notent que les tests réalisés en 1970 sur le puits ont montré une perméabilité quasi nulle. Ils considèrent donc ce niveau comme semi-perméable au droit du site.

Aquifère du Néocomien

Le rapport ne fournit aucune donnée spécifique au droit de Grandpuits. Cependant, les auteurs indiquent que la transmissivité au sein de l'aquifère du Néocomien varie de $1.10^{-5} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ au nord et à l'est du bassin jusqu'à $2,5.10^{-3} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ avec une moyenne voisine de $2.10^{-4} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ (Wei, 1990, Hydroexpert 2000).

Aquifère de l'Albien

Sur la base de l'étude Hydroexpert (2000), les auteurs précisent que la transmissivité de l'Albien au droit de Grandpuits serait de l'ordre de $10^{-3} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$. L'épaisseur productive n'est pas précisée mais la porosité efficace serait autour de 15%.

Aquifère des calcaires de Champigny

Les niveaux productifs sont dans les Calcaires de Saint-Ouen et du Lutétien. Sur la base du mémoire de Mégnien (1979), les auteurs mentionnent des transmissivités très hétérogènes au droit du site, ainsi qu'un coefficient d'emmagasinement calculé à 5% au droit du site. Un essai de pompage réalisé en 2003 sur un nouvel ouvrage de surveillance (Pz7) a permis de déterminer une transmissivité entre 1.10^{-4} et $6.10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ et un coefficient d'emmagasinement de 3.95%. La perméabilité moyenne est estimée à $1,5.10^{-5} \text{ m/s}$.

Aquifère des Calcaires de Brie

Les transmissivités de l'aquifère des Calcaires de Brie ne sont pas commentées dans le rapport BURGEAP 2012. Seule une perméabilité de 1.10^{-5} à 5.10^{-5} m/s est reportée pour le secteur de l'usine (source non citée).

2.4 PIEZOMETRIE ET SENS D'ECOULEMENT DES NAPPES ETUDIEES

Nappe du Dogger

La piézométrie de la nappe du Dogger est illustrée à partir des Figures 6 et 7 du rapport BURGEAP 2012 : carte de la pression de gisement exprimée en mètres d'eau salée pris au niveau de la mer datant de 1972³ et carte de la pression du gisement du

³ Korotchansky A.N., Vaniscotte C. (1972) – Injection d'eaux résiduaires, première réalisation française (puits SEIF-1.1.). Annales des mines p. 15-26.

réservoir du rapport BRGM/RR-30169-FR. Il n'y figure pas de carte piézométrique récente du Dogger.

La carte de 1972 indique un écoulement régional du Sud-Est (affleurements du Dogger) vers le Nord-Ouest (La Manche).

D'après les auteurs, la carte de la Figure 7, présentée dans le rapport BRGM/RR-30169-FR, a été tracée en 1989 à partir de nombreuses données issues de l'exploitation géothermique. Elle indique un niveau piézométrique de l'ordre de 145 m NGF dans le secteur de Grandpuits (29 mètres au-dessus de la surface du sol) et 140 m NGF au droit de Paris. La nappe est donc artésienne. Le sens d'écoulement local est orienté de l'Est vers l'Ouest, et le gradient est très faible (1 mètre pour 10 kilomètres).

Sur la base des simulations de Wei (1990), les auteurs indiquent que la nappe du Dogger est influencée par l'exploitation des aquifères sus-jacents et inversement.

Nappe du Lusitanien

Il n'y a pas de carte piézométrique pour la nappe du Lusitanien présentée dans le rapport. Sur la base de la reconstitution par modélisation effectuée par Wei (1990), les auteurs précisent que le niveau piézométrique de cette nappe est situé entre 250 et 200 m NGF aux affleurements sud-est de la formation et aux environs de 150 m NGF à Reims et Orly. La nappe s'écoulerait globalement du Sud-Est vers le Nord-Ouest.

Nappe du Néocomien

La piézométrie de la nappe du Néocomien est illustrée à partir de la Figure 12 (reconstitution par modélisation de l'état naturel, avant toute exploitation, des nappes de l'Albien et du Néocomien, par Hydroexpert, 2000).

Cette nappe s'écoulerait naturellement du Sud-Est vers le Nord-Ouest (143 m NGF sur Grandpuits et 130 m NGF sur Paris). Depuis l'exploitation des nappes de l'Albien et du Néocomien, le niveau piézométrique a été rabattu d'environ 50 mètres par rapport à l'état naturel. Le niveau de la nappe retenue en 2002 était de 95 m NGF au droit du puits SEIF-1.1, son sens d'écoulement du sud vers le nord et un gradient de l'ordre de 0.04% (Hydroexpert, 2000).

Les données les plus récentes prises en compte datent de 2002. Cependant référence est faite à la remontée du niveau piézométrique de l'Albien pouvant faire remonter le niveau piézométrique du Néocomien.

Nappe de l'Albien

La piézométrie de la nappe de l'Albien est illustrée à partir des Figures 15, 16: Piézométrie de la nappe de l'Albien en 1935 et en 1965 - source BURGEAP 1975, et de la Figure 17 : Piézométrie de l'Albien de référence interpolée pour 1995 – source BRGM 1997.

La nappe de l'Albien s'écoulait globalement du sud vers le nord jusqu'à son exploitation au milieu du XIX^e siècle (Hydro expert, 2000). Un rabattement important s'est alors produit sous la région parisienne (jusqu'à 100m dans les années 60). Il s'est ensuite stabilisé à partir des années 2000 suite à un contrôle de l'utilisation de cette ressource. Le niveau piézométrique remonte depuis (remontée estimée de 4 mètres entre 2000 et 2008 à 24 km au Sud de l'usine).

Sur la base du niveau piézométrique de 1995 retenu pour le niveau de 2002 au droit du site (65 m NGF, cf. Figure 17), les auteurs prennent en compte un sens d'écoulement local du Sud-Est au Nord-Ouest, un gradient de l'ordre de 1/1000 et un niveau de 69 m NGF (considérant 4 mètres de remontée en 8-10 ans).

Nappe des calcaires de Champigny

La piézométrie de la nappe de Champigny est illustrée à partir des Figures 19a et 19b (Piézométrie de 1967, Mégnien 1979 et AQUI'BRIE – campagne de basses eaux – octobre 2003). L'écoulement général Est-Ouest avec un gradient de 4‰ reste inchangé sur la période 1967-2003. Cependant, le niveau de la nappe aurait diminué de 3 à 6 mètres depuis les années 2000, le niveau actuel étant de 67 m NGF au droit du site (confirmé par les niveaux observés sur un piézomètre à proximité du puits d'injection).

Nappe des calcaires de Brie

Le rapport s'appuie sur une étude locale réalisée par IDDEA en 2011 et le rapport BURGEAP 2010. Les auteurs mentionnent que le niveau piézométrique est très proche de la surface entre 106 et 118 NGF. La nappe s'écoulerait de l'ouest vers le sud-est avec un gradient d'environ 0.7%. D'après IDDEA (2011) un dôme piézométrique serait mis en évidence au droit de l'usine.

2.5 SYNTHES DES BILANS ET VITESSES D'ÉCOULEMENT DES NAPPES ÉTUDIÉES DANS LE DOSSIER

Nappe du Dogger

Sur la base des simulations de Wei (1990), les auteurs indiquent que le bilan de la nappe du Dogger s'établit au très faible débit de 25 l.s⁻¹ dont 9 l.s⁻¹ proviennent du Trias et 16 l.s⁻¹ de la recharge de la nappe à partir des affleurements.

Les auteurs ont calculé une vitesse horizontale d'écoulement de l'ordre de 10 à 50 cm par an dans le secteur de Grandpuits sur la base des paramètres hydrodynamiques présentés au §1.2.1.

Nappe du Lusitanien

Le bilan et vitesses d'écoulement de la nappe du Lusitanien ne sont pas abordés dans le rapport.

Nappe du Néocomien

Sur la base des travaux de Wei (1990) et Hydro expert (2000), les auteurs mentionnent un débit s'écoulant naturellement dans l'aquifère de l'ordre de 100 à 200 l.s⁻¹. Depuis, l'exploitation de la nappe de l'Albien et du Néocomien, le débit a augmenté de 140 à 230 l.s⁻¹.

Nappe de l'Albien

Sur la base des travaux d'Hydro expert (2000), les auteurs précisent que le débit qui s'écoulait naturellement dans l'aquifère était de l'ordre de 1500 l.s⁻¹ avant son exploitation. Une augmentation des volumes d'eau transitant dans l'aquifère a accompagné sa mise en exploitation.

Nappe des calcaires de Champigny

Le bilan et les vitesses d'écoulement de la nappe de Champigny ne sont pas abordés dans le rapport. Les auteurs indiquent que la nappe est principalement rechargée par le réseau hydrographique, seul apport modeste qui s'effectuerait par les calcaires de Brie sus-jacents après une percolation dans les argiles vertes.

Nappe des calcaires de Brie

Le bilan et les vitesses d'écoulement de la nappe de Brie ne sont pas abordés dans le rapport. Il y est précisé que la nappe est perchée sur les argiles vertes semi-perméables. Elle s'écoule principalement par des sources.

2.6 SYNTHÈSE DE LA GEOCHIMIE DES NAPPES ETUDIÉES DANS LE DOSSIER

Nappe du Dogger

D'après le rapport BURGEAP 2012, aucune nouvelle donnée sur la géochimie de la nappe du Dogger n'a été produite depuis 2002.

Sur la base du rapport BRGM/RR-30169-FR et d'analyses réalisées sur le doublet géothermique du Mée-sur-Seine en 1998, les auteurs indiquent que la nappe du Dogger est caractérisée par la présence d'eaux chlorurées sodiques, fortement réductrices et légèrement acides au droit de la région parisienne. Elles contiennent aussi des concentrations variables de dioxyde de carbone et d'hydrogène sulfuré et des bactéries sulfato-réductrices.

Des analyses chimiques du fluide récupéré en tête du puits d'injection SEIF ont été réalisées en 1970 avant sa mise en fonction. Elles donnent des résultats physico-chimiques comparables à ceux observés dans la région de Melun. Seuls des écarts qui ne peuvent être expliqués par les auteurs ont été observés sur les teneurs en sulfates et calcium. La minéralisation totale du fluide était de 23 g.l⁻¹ (plus forte que les autres forages géothermiques) et sa température de 70-75°C.

Il est à noter que le caractère fortement réducteur du milieu implique que l'azote présent naturellement ou introduit dans la nappe ne peut se trouver que sous des formes réduites de N₂ ou NH₄⁺ (et non subsister sous forme NO₃⁻ ou NO₂⁻).

Aucune analyse physico-chimique n'a été réalisée au droit de Grandpuits depuis 1970. Les auteurs l'expliquent par les contraintes techniques d'un tel prélèvement à partir du puits existant et le manque de représentativité du fait de l'injection d'un effluent. Une baisse sensible de la température (41°C mesurés) a été reportée lors de la complétion en 2011.

Nappe du Lusitanien

Les auteurs indiquent que « *la nappe du Lusitanien est une nappe relativement salée (de 5 à 10 g.l⁻¹) et chaude* » (température maximale de 65°C dans le centre du bassin qui décroît vers les bordures).

Nappe du Néocomien

Les auteurs précisent que « *la nappe du Néocomien est une nappe assez peu minéralisée avec une salinité moyenne de l'ordre de 1 g.l⁻¹. Sa salinité est maximale à l'est du bassin où elle atteint 5 g.l⁻¹ et décroît du Sud-Ouest vers le Nord-Est. Sa température maximale est égale à 50°C au centre du bassin dans la région de Coulommiers* ».

Nappe de l'Albien

Les auteurs mentionnent que « *la nappe de l'Albien est une nappe d'eau douce faiblement minéralisée (conductivité voisine de 200-350 µS.cm⁻¹). Sa température est comprise entre 20 et 34°C* ». Ils l'illustrent par deux analyses géochimiques de cette nappe réalisées sur le site de Grande Paroisse en 1968 et 1996.

Nappe des calcaires de Champigny

Les auteurs précisent que « *la nappe des Calcaires de Champigny est une nappe d'eau douce, neutre, carbonatée, calcique dont la minéralisation moyenne est de l'ordre de 500 mg.l⁻¹ dont quelques dizaines de mg.l⁻¹ de nitrates* ». Ils l'illustrent par la composition chimique moyenne depuis 2005 à l'aval du puits d'injection. Cependant ils s'interrogent sur les teneurs très faibles en nitrates par rapport à ce qui est observé en Brie.

Nappe des calcaires de Brie

La géochimie de la nappe de Brie n'est pas abordée dans le rapport.

2.7 AVIS DE L'EXPERT SUR L'ETUDE HYDROGEOLOGIQUE

Le rapport BURGEAP (2012) comporte une synthèse des principales caractéristiques des différents aquifères reconnus au droit du forage d'injection sur la base d'une revue bibliographique complète.

Les données présentées ne renseignent pas toujours de façon suffisante l'hydrogéologie locale. En particulier, les niveaux piézométriques des différents aquifères sus-jacents au Dogger restent peu renseignés dans le voisinage du puits. Ceci est toutefois lié au faible nombre de données disponibles relatives à la surveillance des eaux souterraines dans le voisinage du puits d'injection. Le BRGM présente ci-dessous ses commentaires pour chacun des aquifères étudiés.

Aquifère du Dogger

Les caractéristiques hydrogéologiques du Dogger reprennent et complètent les informations présentées dans le Rapport BURGEAP (2002). D'après les auteurs, les niveaux piézométriques du Dogger de 140 m NGF et 145 m NGF, respectivement pour Grandpuits et Paris, correspondent aux niveaux piézométriques de 1840 en régime permanent naturel (sans exploitation). Cependant, le rapport d'étude d'incidence devrait mentionner que ces niveaux piézométriques datent de 1840 et qu'ils peuvent donc être sujets à caution.

Des données piézométriques plus récentes sur le Dogger permettraient la comparaison avec les augmentations de niveaux liés à l'injection calculés dans le rapport BURGEAP (2012).

D'après des travaux du BRGM sur la pression statique de gisement au sein du Dogger⁴ réalisés dans les années 80, les données de pressions statiques extrapolées dépendent en particulier de différences de profondeur des aquifères et des sondes de pression au moment de la mesure. Des niveaux « potentiométriques fictifs » ont été calculés à cette époque, et permettaient de mieux appréhender, par comparaison, les gradients de pression qui existent entre deux points⁵. Des valeurs entre 150 et 160 m avaient été établies dans la zone du site de Grandpuits. Ces travaux du milieu des années 80 n'ont cependant jamais été poursuivis ou actualisés. Dans le contexte actuel de l'exploitation réduite du Dogger dans la zone considérée, il ne semble pas nécessaire de recalculer ces niveaux « potentiométriques fictifs ».

⁴ Rapport BRGM 84SGN79GTH-IRG – Analyse des écoulements naturels de l'aquifère géothermique du Dogger du centre du bassin de Paris

⁵ Le niveau potentiométrique fictif est défini comme la colonne de fluide géothermique qui équilibre la pression de gisement à la température de gisement. Une carte qui donne la différence en mètres entre l'altitude de la colonne de fluide géothermique à la température de gisement qui équilibre la pression de gisement et le niveau NGF a ainsi été élaborée.

Le BRGM précise ici que des données thermiques et géochimiques de la nappe du Dogger ont été produites depuis 2002. Il existe notamment deux rapports publiés par le BRGM dans le cadre du projet de « Gestion du Dogger » cofinancé par l'ADEME qui abordent l'évolution thermique et géochimique de l'aquifère du Dogger et qui sont : BRGM/RP-58834-FR (novembre 2010) et BRGM/RP-60996-FR (mars 2012).

Les auteurs citent une minéralisation totale du fluide récupéré en tête du puits d'injection SEIF de 23 g.l⁻¹ en 1970 qui était plus forte que les autres forages géothermiques. Cette valeur de 23 g/l est supérieure à ce qu'elle est à Melun l'Almont (env. 14g/l) et le Mée-sur-Seine (22 g/l), mais reste toutefois dans la gamme des valeurs de salinité totale du Dogger, qui vont jusqu'à plus de 30 g/l vers le Nord du bassin (Seine-Saint-Denis, Picardie, Est de la Seine et Marne).

Par ailleurs, la température originelle du Dogger citée (75°C) est conforme à ce qu'on observe à Melun (71 °C) et au Mée-sur-Seine (73°C).

Remarque n°1

L'exploitant veillera à prendre connaissance du rapport BRGM public publié en mars 2012 (BRGM/RP-60996-FR), après la rédaction du rapport de Burgeap, et complètera si nécessaire l'étude hydrogéologique (Partie A du Rapport BURGEAP 2012). En fonction de l'éventuelle actualisation de données d'entrée, l'exploitant veillera à compléter son approche sur les impacts thermique et d'injection de substances dangereuses dans l'aquifère du Dogger.

Aquifère du Lusitanien

Les caractéristiques hydrogéologiques du Lusitanien au droit du puits d'injection reprennent les informations présentées dans le Rapport BURGEAP (2002).

D'après les auteurs, le Lusitanien est exploité pour la géothermie. A la connaissance du BRGM, aucune opération de géothermie en Ile-de-France n'exploite à ce jour cet aquifère. Une étude de reconnaissance de cet aquifère est en cours avec l'objectif de déterminer le potentiel du Lusitanien en vue d'un futur développement géothermique destiné à alimenter des réseaux de chaleur dont les besoins des utilisateurs sont réduits du fait de l'application de la réglementation thermique 2012 aux bâtiments nouveaux.

Compte tenu de son exploitation future, et si celle-ci se confirme, l'étude du Lusitanien devra être abordée lors de la prochaine échéance de pérennisation de l'injection dans le forage de Grandpuits.

Aquifère du Néocomien

Les caractéristiques hydrogéologiques du Néocomien au droit du puits d'injection reprennent et complètent les informations présentées dans le Rapport BURGEAP (2002). Il est noté que la source de la Figure 13, « BRGM 97 », n'est pas référencée en bibliographie du rapport BURGEAP (2012). Cela mériterait d'être précisé.

Il est important de noter que, du fait de la remontée de l'Albien depuis les années 2000, les auteurs considèrent possible une hausse du niveau piézométrique dans le Néocomien, mais jugent cette remontée non significative au droit du site.

Aquifère de l'Albien

Les caractéristiques hydrogéologiques de l'Albien au droit du puits d'injection reprennent et complètent les informations présentées dans le Rapport BURGEAP (2002). Il est noté que la source de la Figure 17, « BRGM 97 », n'est pas référencée en bibliographie du rapport BURGEAP (2012). Cela mériterait d'être précisé.

Considérant que la remontée de la nappe de l'Albien se fait toujours de manière progressive, il aurait été pertinent d'utiliser des données les plus récentes possibles de suivi piézométrique pour évaluer la remontée entre 2002 et 2012 au droit du site.

De plus, les auteurs illustrent la composition chimique de la nappe de l'Albien sans citer les références et l'emplacement exact des forages qui ont été utilisés. Les analyses présentées datent de 1968 et 1996, il aurait semblé pertinent d'intégrer des résultats plus récents.

Notons que l'Albien et le Néocomien font actuellement l'objet d'autorisations spécifiques de la DRIEE pour une exploitation géothermique (production et réinjection réglementée dans le même aquifère en vue de disposer de forages à réquisitionner en cas de nécessité d'alimenter la ville de Paris en eau de consommation.

Aquifère des Calcaires de Champigny

Les caractéristiques hydrogéologiques de la nappe de Champigny au droit du puits d'injection reprennent et complètent les informations présentées dans le rapport BURGEAP (2002). Des données plus récentes sur la piézométrie en basses eaux sont présentées. Cependant, il serait pertinent de voir figurer au dossier une carte piézométrique des hautes eaux afin d'étudier une éventuelle variation saisonnière du sens d'écoulement.

Les auteurs citent des niveaux piézométriques au droit de l'usine (75 m NGF en 1970) et 70 m NGF en 2001) sans référencer clairement les piézomètres utilisés. Bien que le mode de surveillance de l'aquifère soit expliqué dans le paragraphe BB8.1, le paragraphe A4.2.5.2 pourrait utilement être complété pour ce qui concerne les ouvrages de suivi piézométriques en place au droit du site.

Remarque n°2

L'exploitant veillera à compléter l'étude de la piézométrie et du sens de l'écoulement de la nappe des Calcaires de Champigny sur la base d'une réflexion en basses et hautes eaux, sur une même année. Cette étude devrait se baser sur des données piézométriques les plus récentes possibles. Elle permettra de définir si le sens d'écoulement varie au cours d'une année. En effet, seule une piézométrie en basses eaux est présentée dans le rapport.

3 Pertinence de la modélisation de l'influence de l'injection sur les caractéristiques physico-chimiques de la nappe du Dogger et des aquifères sus-jacents

3.1 LES TRANSFERTS ENTRE NAPPES HORS INJECTION

3.1.1 Principe de l'étude

Dans cette partie, sont étudiés :

- Les transferts entre la nappe du Dogger et les nappes sus-jacentes (Lusitanien et Néocomien) en régime naturel d'écoulement (hors exploitation des nappes) ;
- Les transferts entre la nappe du Dogger et le Néocomien en tenant compte de l'exploitation des nappes (Albien, Néocomien).

Le calcul des flux est basé sur la loi de Darcy et le calcul des temps de transfert sur la formule de Crank (pour le calcul tenant compte uniquement de la diffusion moléculaire) et la formule d'Ogata (pour le calcul tenant compte des phénomènes de convection et de diffusion moléculaire). Par ailleurs, les effets densitaires sont négligés dans les calculs.

Le flux du Dogger vers le Lusitanien est estimé à 20,7 l/s et celui du Dogger vers le Néocomien est estimé à 17,8 l/s. Le temps de transfert global (prise en compte de la diffusion et de la convection) en régime permanent naturel, pour atteindre 10% de la concentration initiale du Dogger vers le Lusitanien, est estimé à 265 000 ans et du Dogger vers le Néocomien, à 1 200 000 ans. Ce temps passe à 390 000 ans pour le passage de 0,1 % de la concentration initiale du Dogger vers le Néocomien.

En tenant compte de l'exploitation des nappes (Albien, Néocomien), le flux du Dogger vers le Néocomien est estimé à 88,8 l/s. Du fait de l'exploitation de l'Albien, le temps de transfert global obtenu pour atteindre 10% de la concentration initiale du Dogger est de l'ordre de 520 000 ans, et de l'ordre de 260 000 ans pour atteindre 0,1% de la concentration initiale du Dogger.

Les conclusions tirées de ces calculs sont les suivantes : l'exploitation de la nappe de l'Albien, et plus récemment de celle du Néocomien, ont pour conséquence de multiplier par 5 les flux d'eau allant de la nappe du Dogger vers celle du Néocomien et corrélativement de réduire, dans les mêmes proportions, les temps de transferts par convection. Les transferts par diffusion sont inchangés. Le temps de transfert global (convection et diffusion) est réduit d'un facteur proche de 2.

3.1.2 Avis du BRGM :

Le choix des différentes solutions analytiques (Darcy, Crank et Ogata) pour évaluer les transferts entre nappes est approprié. Leur utilisation en ne considérant qu'une seule valeur pour chaque paramètre ne semble en revanche pas suffisante. En effet, certains paramètres utilisés tout au long de l'étude caractérisent des milieux naturels hétérogènes (parfois fissurés et/ou fracturés); ces paramètres (telle la conductivité hydraulique ou la porosité) sont donc entachés d'incertitude. D'autres paramètres, telles les charges hydrauliques totales, sont variables dans le temps et dans l'espace. En plus de l'incertitude inhérente à chaque paramètre, leur acquisition peut également être à l'origine d'une incertitude (par exemple, les valeurs piézométriques de l'Albien et du Néocomien utilisées pour définir la situation en régime permanent naturel sont issues d'une reconstitution par modélisation pour laquelle il existe nécessairement un écart entre valeurs mesurées et valeurs calculées).

Pour ces raisons, il semble nécessaire de mener l'analyse en intégrant une analyse de sensibilité, sur la base de valeurs hautes, basses et moyennes. Ces hypothèses, une fois posées, doivent être utilisées dans chacune des parties traitant d'un calcul ou d'une analyse spécifique. Ceci constitue un point essentiel à toute analyse d'incertitude.

Par ailleurs, les transferts entre l'aquifère du Dogger et les différents aquifères sus-jacents sont évalués afin de quantifier l'influence de l'injection en terme de variation de flux hydriques. Cette évaluation est basée sur une comparaison entre les flux avec et sans injection dans le Dogger. Cette comparaison est tout à fait pertinente mais l'évaluation quantitative des flux en tant que telle est très discutable. En effet, l'évaluation des flux est basée sur une surface de transfert d'environ 70 000 km² (correspondant à un disque de 150 km de rayon autour du puits d'injection). Cette distance de 150 km correspond au rayon d'action maximale de l'injection, en terme de pressions, sur l'aquifère du Dogger et aux limites géographiques de l'aquifère. Hormis le fait que cette distance est sensible aux paramètres utilisés pour la calculer, les paramètres permettant de quantifier les flux verticaux (c'est-à-dire les paramètres de la loi de Darcy, à savoir la perméabilité, l'épaisseur des formations considérées, la porosité et la différence de charge entre les aquifères) sont variables dans l'espace. Or les paramètres de la loi de Darcy utilisés sont ceux au droit du puits d'injection. Les flux calculés ne peuvent donc pas être représentatifs des flux réels existants sur une surface d'environ 70 000 km². La variation spatiale de ces paramètres sur une si grande surface est telle qu'il est impossible en première approche de dire si les flux calculés surestiment ou sous-estiment les flux réels. Une estimation plus précise des flux sur une telle surface nécessiterait de prendre en compte la variation des différents paramètres par discrétisation spatiale.

Le délai de transfert n'est pas nécessairement le paramètre le plus pertinent pour déterminer le caractère significatif ou non de l'impact potentiel résultant de l'exploitation. Il semble important de comparer les flux hydriques et massiques⁶ issus

⁶ Dans l'étude d'incidence (BURGEAP, 2012), seuls les flux hydriques ont été évalués.

du Dogger pour différents contextes (et plusieurs scénarios) avec les débits des aquifères dont la qualité doit être préservée. Cette comparaison devrait illustrer les capacités d'atténuation par dilution propres aux formations supérieures au Dogger.

Les flux peuvent être estimés sur de plus petites surfaces que celle envisagée initialement de 70 000 km². Les différents contextes peuvent être, comme ceux déjà considérés, liés aux situations avec et sans injection dans le Dogger, avec et sans exploitation de l'Albien. Les scénarios envisagés peuvent être réalisés sur différentes verticales (au moins 2) plus au moins proches du puits. Les différents horizons n'étant pas des milieux isotropes et homogènes, ces scénarios doivent tenir compte de l'incertitude des paramètres utilisés dans le calcul (principalement perméabilité, et épaisseur des formations considérées). Par exemple, à proximité immédiate du puits, les argiles peuvent être fracturées et leur perméabilité peut être de plusieurs ordres de grandeur supérieure à la valeur de 1.10^{-11} m/s prise en compte pour les calculs. Dans ces conditions, la prise en compte de la dispersivité (et non plus seulement de la diffusion) dans l'évaluation des transferts entre nappes peut alors ne plus être négligeable. Ce phénomène de dispersion est important à étudier car, même s'il contribue à atténuer les concentrations des substances transportées, il contribue également à diminuer le temps de transfert entre le Dogger et les aquifères supérieurs.

Il est à préciser que l'influence de l'injection dans le Dogger sur les niveaux piézométriques des aquifères sus-jacents n'est pas prise en compte. Les surpressions liées à l'injection dans la nappe du Dogger sont effectivement susceptibles d'être transmises aux horizons hydrogéologiques sus-jacents, et donc de modifier les charges hydrauliques totales de ceux-ci au droit et à proximité du forage d'injection. Néanmoins, le fait de ne pas prendre en compte ce phénomène est sécuritaire vis-à-vis des flux échangés puisque cela revient à diminuer la différence de charge entre le Dogger et les aquifères sus-jacents. Dans le cadre de cette évaluation des impacts, cette prise en compte n'est donc pas nécessaire.

Les effets densitaires sont négligés dans l'ensemble des calculs. La justification n'appelle pas de remarques particulières hormis le fait que le choix de l'épaisseur d'aquifère retenue (20 m) est à justifier. En effet, l'effluent peut être injecté plus profondément que dans les formations considérées comme productives, de 20 m de puissance. A défaut de pouvoir définir une épaisseur précise d'injection, une étude de sensibilité sur ce paramètre s'avèrerait nécessaire.

Un éclaircissement sur l'épaisseur retenue des formations peu perméables au droit du puits d'injection est également à apporter. Si comme indiqué dans le texte, l'opposition aux transferts verticaux des horizons aquifères et des semi-perméables (Lusitanien, Portlandien et Purbeckien) est négligée (i.e. leur perméabilité verticale est supposée infinie), alors l'épaisseur cumulée des formations peu perméables (Kimméridgien, Oxfordien et Callovien) est évaluée à 331 m, et non 400 m comme retenu dans les calculs. De plus, les calculs tiennent compte des intercalations calcaires à l'intérieur des formations peu perméables, intercalations pour lesquelles il est indiqué que les mêmes propriétés hydrauliques sont attribuées (i.e. une perméabilité de 1.10^{-11} m/s). Cette prise en compte surestime l'épaisseur des formations séparant le Dogger du

Néocomien. Des détails sont donc à apporter pour justifier le caractère réellement majorant du calcul.

Les points suivants appellent également des précisions ou des modifications :

- La source d'information utilisée pour définir la porosité dans les formations peu perméables (10%) est à préciser (Tableau 22) ;
- Le temps de transfert pas diffusion de 0,1% de C_0 doit être identique pour les cas « avec et sans exploitation de l'Albien » (Tableaux 25 et 26). Les valeurs (520 000 et 515 000 ans) sont donc à homogénéiser.

3.2 LES TRANSFERTS ENTRE NAPPES AVEC INJECTION

3.2.1 Principe de l'étude

Dans cette partie, les transferts entre le Dogger et le Néocomien sont évalués en tenant compte de l'injection des effluents de l'usine dans le Dogger. Le calcul tient compte des variations de pression induites dans l'aquifère par l'injection (à partir des formules de Jacob et Hantush). Les calculs des flux et des temps de transfert sont similaires à ceux réalisés dans le cas « sans injection » (formules de Darcy, Crank et Ogata).

Les conclusions tirées de ces calculs sont que l'injection des effluents dans le Dogger, couplée à l'exploitation des nappes du Néocomien et de l'Albien, a pour conséquence :

- D'augmenter les flux allant du Dogger vers le Néocomien de l'ordre de 15 % environ par rapport au cas « sans injection » ;
- De diminuer le temps de transfert entre le Dogger et le Néocomien d'un facteur 4 au droit du puits.

Par ailleurs, un calcul des dimensions de la bulle d'eau injectée est réalisé à partir de la méthode de Wyssling.

Les résultats de ces calculs indiquent qu'après 30 ans de fonctionnement (respectivement 60 ans), la zone occupée par le fluide injecté est un cylindre quasi parfait centré sur le puits SEIF-1.1 de 1400 mètres de rayon (respectivement près de 2000 m) occupant toute la hauteur de la formation.

3.2.2 Avis du BRGM :

Calcul des pressions induites dans l'aquifère par l'injection:

Le choix des deux solutions (Jacob et Hantush) pour évaluer les remontées de pression liées à l'injection apparaît approprié. Pour ce qui concerne l'application de la solution de Jacob, un point est à préciser : il est indiqué que le domaine d'application

est de 61 km pour une transmissivité $T=1.10^{-4}$ m²/s et 140 km pour $T=5.10^{-4}$ m²/s. Or, le tableau en annexe 8 ne reflète pas ces conditions et la valeur retenue du rayon d'influence (150 km) provient de cette équation pour une durée d'injection de 30 ans et une transmissivité de 1.10^{-4} m²/s.

L'estimation des transferts dus à l'injection est soumise aux mêmes remarques que celles faites dans le paragraphe précédent sur l'évaluation des flux de transfert hors injection (nécessité de faire une étude de sensibilité sur les paramètres utilisés dans le calcul des flux et des temps de transfert). De plus, il conviendrait de présenter les résultats pour une durée d'injection de 60 ans, en plus de ceux correspondant à une durée d'injection de 30 ans, présentés dans le Tableau 37.

Le suivi de l'évolution des pressions au niveau du puits géothermique au Mée-sur-Seine (à environ 25 km de Grande Paroisse) montre qu'aucune surpression, liée à une éventuelle influence de l'injection sur le site de GPN, n'a été mise en évidence. Cela signifierait que le rayon d'influence du forage GPN est inférieur à 25 km au bout d'environ 40 ans, auquel cas ce rayon est bien plus réduit que celui envisagé par calcul. Cela pourrait également signifier que la transmissivité à considérer pour le Dogger est supérieure à 5.10^{-4} m²/s. Le choix de cette valeur, qui provient d'une estimation et non de mesures de terrain, doit être justifié..

Calcul des dimensions de la bulle d'eau injectée :

Les formules de Wyssling, qu'il conviendrait de rappeler dans le texte ou en annexe, sont utilisées pour évaluer la taille de la bulle d'eau injectée dans le Dogger. Il est nécessaire de rappeler que cette formule s'applique à un régime permanent établi, ce qui est une hypothèse sécuritaire.

Au-delà de l'estimation de la distance parcourue par le front d'infiltration dans le Dogger, il aurait été intéressant que soit aussi donnée la valeur x_0 du rayon d'appel du puits (correspondant au rayon d'influence du puits vers l'amont hydraulique). Au-delà donc des valeurs de propagation de la bulle d'injection, cette information renseignerait sur l'importance de l'influence potentielle du puits d'injection en régime permanent, ce qui complète les informations du paragraphe précédent sur le calcul des pressions induites dans l'aquifère par l'injection.

Le Dogger n'étant pas un milieu homogène et isotrope, une analyse de sensibilité sur les paramètres hydrodynamiques d'entrée s'avère nécessaire.

Les points suivants demandent également à être précisés ou corrigés :

- Il y a un point d'interrogation, sans justification apparente, après la valeur 296 (tableau des rabattements du paragraphe 1.2 de l'annexe 8).
- L'abaque relatif à la formule de Hantush n'est pas joint à l'annexe (paragraphe 1.2 de l'annexe 8).

- Dans le paragraphe « calcul des débits en utilisant la formule de Jacob », il semble manquer le terme (K'/b') dans l'expression de dq (paragraphe 2.1 de l'annexe 8).
- Il est fait mention de la loi de Theis, sans raison apparente, dans l'annexe 8.
- Dans le Tableau 38, les valeurs de remontée de pression liée à l'injection pour une distance au puits de 0,1 et 1 m n'apparaissent pas dans le tableau de présentation des résultats en annexe 8. L'origine de ces valeurs est à expliciter.

3.3 EVOLUTION DES CARATERISTIQUES GEOCHIMIQUES DU DOGGER AU SEIN DU BULBE DE REINJECTION

3.3.1 Impact des effluents utilisés

3.3.1.1 Principe de l'étude

Pour évaluer les interactions chimiques entre les eaux injectées et le milieu d'injection, une modélisation géochimique des interactions fluides/solides a été réalisée. Cet exercice a été mené dans le cadre de l'étude de sûreté de 2002 (BURGEAP, 2002a) et reprise dans le dossier de 2012.

Le code de calcul utilisé est le code CHESS (acronyme de « Chemical Equilibrium of Species and Surfaces ») développé par le Centre des Géosciences de l'Ecole des Mines de Paris. Ce programme est utilisé dans sa version purement thermodynamique, c'est-à-dire que les réactions sont considérées comme instantanées, et avec l'option "FLUSH" qui permet de simuler l'évolution d'un assemblage minéralogique soumis à la percolation continue d'une solution.

Du fait de la variation des caractéristiques moyennes des effluents depuis la mise en service du puits d'injection et celles alors prévues en 2002 (BURGEAP, 2002a), trois modèles d'effluents moyens ont été étudiés :

- Le premier effluent (EFFLUENT1) a une composition chimique proche de la composition chimique moyenne des effluents injectés entre 1971 et 1990 ;
- Le second effluent (EFFLUENT2) a une composition chimique proche de la composition chimique moyenne des effluents injectés entre 1990 et 2006 ;
- Le troisième effluent (EFFLUENT3) a une composition chimique construite en 2001 (BURGEAP, 2002a) à partir des données fournies alors par Grande Paroisse à l'issue des études menées en vue de l'augmentation du recyclage des eaux, et effectivement mise en place en 2006.

L'étude des interactions chimiques pouvant se produire entre les effluents normalement injectés et l'aquifère du Dogger indique qu'en terme de dissolution ou de colmatage de l'aquifère, l'injection a peu, voire pas d'impact significatif (modification de

la porosité au sein du volume de roche oxydée au maximum de l'ordre de 0,3 % sur toute la durée de l'injection). L'effluent est donc peu « agressif » vis-à-vis de l'encaissant. Les principaux effets de l'injection des effluents sont :

- D'augmenter de façon importante la concentration d'azote dans le système au niveau de la bulle d'injection (les teneurs sont multipliées par 10) ;
- D'oxyder progressivement la pyrite au fur et à mesure de la progression du « rayon d'action géochimique » et de rendre le milieu oxydant à l'intérieur de ce rayon. Sur la base d'hypothèses sécuritaires, ce rayon a été évalué à 135 m au bout de 60 ans d'injection continue ;
- D'augmenter les teneurs en sulfates dans les eaux contenues dans l'aquifère au niveau de la zone d'oxydation de la pyrite. Toutefois, les concentrations en sulfates après oxydation restent dans les ordres de grandeur des concentrations en sulfates dans les eaux du Dogger à l'état naturel.

Depuis le 1er janvier 2007, il est constaté que l'effluent moyen injecté est de composition chimique intermédiaire, en ordre de grandeur, entre celles de l'EFFLUENT2 et de l'EFFLUENT3, notamment pour les composés azotés. Il est donc conclu que la composition de l'effluent actuellement injecté ne remet pas en cause les conclusions des calculs géochimiques réalisés dans le cadre de l'étude de sûreté en 2002.

3.3.1.2 Avis du BRGM :

Le scénario décrit correspond à l'interaction d'un fluide oxydant, riche en nitrates, dans un milieu réducteur (on note la présence de pyrite Fe_2S dans le cortège minéral des simulations utilisé pour décrire le réservoir). Les contraintes de force ionique sont respectées et le système physico-chimique est assez bien représentatif de la complexité du milieu et de l'interaction considérée. Néanmoins, CHES n'est pas un code permettant de simuler le transport de matière. L'étude utilise alors un raisonnement sur les rapports liquide/solide afin de parvenir à déterminer l'extension de la perturbation, sous la forme du « rayon d'action géochimique ».

L'approche suivie est intéressante sur le plan géochimique. Cependant, depuis 2002 (date de réalisation des calculs géochimiques), les codes de simulation géochimique ont beaucoup évolué. Par exemple, le code CHES est à présent inclus dans une plate-forme plus large, baptisée Hytec, et qui permet de réaliser de véritables simulations dites « transport-réactif », qui comprennent notamment le transport des éléments dissouts. Cet aspect dynamique permet d'inclure les phénomènes d'advection et de diffusion et de se rapprocher des conditions hydrodynamiques réelles.

Une telle évolution, tenant compte des évolutions technologiques intervenues durant la période (cas de « mise à jour »), est impérative afin de renforcer la pertinence du dossier, d'autant plus qu'aucun suivi de la nappe à proximité du site ne permet de confirmer ou infirmer les résultats du calcul.

La notion de « rayon d'action géochimique » (actuellement définie comme la limite d'oxydation complète de la pyrite dans l'encaissant) ne permet pas de se rendre compte réellement du rayon d'aquifère influencé par l'injection de l'effluent. Cette notion sera donc à redéfinir afin de refléter l'impact de la présence de l'effluent dans les eaux du Dogger (par exemple, limite correspondant au doublement de la concentration en nitrates ou à l'augmentation de 0,5 unité pH, ...).

Par ailleurs, certaines interactions mériteraient une attention particulière, telles que :

- Prendre en compte la cinétique des réactions afin de ne pas minorer le rayon d'action géochimique comme c'est le cas actuellement. En effet, les simulations géochimiques présentées ont été effectuées en mode thermodynamique pur, c'est-à-dire que la cinétique des réactions n'a pas été prise en compte. Or la non prise en compte de la cinétique a pour conséquence de sous-estimer le rayon d'action géochimique envisagé puisque la réaction d'oxydation de la pyrite est considérée immédiate ;
- L'effet de température, et en particulier le refroidissement de l'eau du Dogger devrait être intégré également dans les calculs, car il s'agit d'un paramètre qui influe les conditions de transport.

3.3.2 Influence de la quantité et de la qualité des effluents sur la nappe du Dogger

3.3.2.1 Principe de l'étude

Dans le cadre de la mise en place future du plan « eau », les principales évolutions attendues sur les flux injectés sont les suivantes : une diminution significative des flux de nitrates et une augmentation des flux de chlorures (traitement des effluents à l'acide chlorhydrique).

L'impact de l'injection de ce nouvel effluent est estimé de manière qualitative par comparaison avec les résultats de simulation sur les différents types d'effluents considérés. Il n'y a donc pas de nouveau calcul effectué.

Pour les nitrates, par comparaison des résultats obtenus à partir de l'Effluent 1 et de l'Effluent 2, il est indiqué que, suite à la mise en place du plan « eau », on peut s'attendre à une diminution du caractère oxydant de l'effluent vis-à-vis de l'encaissant et donc à une diminution des impacts en terme de modification du cortège minéralogique et également en terme de modification associée de la porosité du milieu aquifère.

Il est également indiqué que l'augmentation du flux de chlorures injectés dans l'effluent n'est pas susceptible de modifier significativement les impacts sur l'encaissant car :

- Les chlorures n'interviennent pas dans les principales réactions d'oxydo-réduction ou de précipitation-dissolution ;
- La nappe contenue dans l'aquifère du Dogger présente une teneur en chlorures beaucoup plus élevée que l'effluent.

3.3.2.2 Avis du BRGM

Pour ce qui concerne la modélisation des interactions géochimiques entre les effluents et le milieu, le BRGM formule la remarque suivante :

Remarque n°3

L'exploitant veillera à réaliser une modélisation de type « transport-réactif » afin d'évaluer l'impact géochimique des effluents utilisés, selon des hypothèses pénalisantes, et en prenant en compte les effets de la température. Cette modélisation devra également être menée pour tenir compte des nouveaux équilibres chimiques liés aux caractéristiques du nouvel effluent. Les résultats des deux calculs pourront ainsi être comparés.

3.3.3 Impact de l'injection de substances dangereuses

3.3.3.1 Principe de l'étude

Au titre de l'action RSDE (réduction des rejets des substances dangereuses dans l'eau), GPN a mené plusieurs campagnes de prélèvements et d'analyses. Au vu des résultats présentés, il apparaît que seule la concentration en cuivre est supérieure à 10*NQE (NQE étant la norme de qualité environnementale réglementaire figurant à l'annexe 2 de l'arrêté du 25 janvier 2010).

Au vu des quantités de cuivre injectées, il est indiqué que :

- Les interactions géochimiques au sein de l'aquifère du Dogger, au niveau du puits d'injection et dans son environnement proche, conduiront à la probable fixation du cuivre introduit dans la matrice aquifère par précipitation ou adsorption, en particulier sur les alumino-silicates contenus dans le réservoir ;
- En conséquence les transferts depuis cette nappe vers les aquifères supérieurs sont peu probables.

En complément de ces « campagnes RSDE », GPN a entrepris de lister les substances référencées dans la législation européenne ou française et susceptibles d'être utilisées sur le site de Grandpuits, donc potentiellement présentes dans les effluents actuellement injectés dans le Dogger. Parmi les 16 substances potentiellement présentes, seuls le vanadium, les fluorures et le méthanal ont été détectés dans les effluents.

Il est indiqué que la concentration mesurée en fluorures étant nettement inférieure à la concentration en fluorures des eaux de la nappe du Dogger, l'injection de fluorures dans les eaux du Dogger n'a pas d'impact supplémentaire.

Pour les autres substances (vanadium et méthanal), au vu des quantités injectées, des données sur l'usage et les caractéristiques de la nappe du Dogger, il est indiqué que :

- Les interactions géochimiques au sein de l'aquifère du Dogger, au niveau du puits d'injection et dans son environnement proche, conduiront à la probable fixation du vanadium introduit dans la matrice aquifère par précipitation ou adsorption et à la probable réduction du méthanal en méthane, gaz dissous déjà présent dans les eaux du Dogger ;
- Les transferts depuis cette nappe vers les aquifères supérieurs sont donc peu probables.

3.3.3.2 Avis du BRGM

Afin de tenir compte de la présence des substances dangereuses inorganiques identifiées (cuivre, vanadium et fluorures) et afin de vérifier les hypothèses émises concernant leur fixation par précipitation ou adsorption, ces substances devront être introduites dans des simulations de type « transport-réactif ».

Le méthanal étant une substance organique, son introduction dans les simulations de type « transport-réactif » est délicat. En revanche, son devenir (éventuelle réduction en méthane) sera à étudier séparément en prenant en compte les caractéristiques physico-chimiques du fluide calculées à l'issue de la modélisation précédente.

Remarque n°4

L'exploitant veillera à ce que les substances dangereuses inorganiques identifiées (cuivre, vanadium et fluorures) soient introduites dans des simulations de type « transport-réactif » et à ce que le méthanal soit considéré séparément en prenant en compte les caractéristiques physico-chimiques du fluide calculées à l'issue des modélisations précédentes.

3.4 IMPACT THERMIQUE SUR LE DOGGER

3.4.1.1 Principe de l'étude

Pour calculer l'impact thermique de l'injection, il est considéré que le fluide n'est réchauffé que par la conduction thermique verticale depuis les épontes inférieure et supérieure, et par les échanges thermiques avec l'aquifère.

Les données d'entrée sont synthétisées dans le tableau suivant.

Débit injecté	Température		Flux thermique aux épontes	Hauteur aquifère	porosité	Capacité calorifique du fluide
	Fluide injecté	nappe				
$\text{m}^3.\text{h}^{-1}$	°C		$\text{mW}.\text{m}^2$	m	%	$\text{kJ}.\text{m}^{-3}.\text{°C}^{-1}$
70	25	75	110	20	15	4180

Tableau 1. Données d'entrées pur les claculs d'échanges thermiques (source Burgeap)

Les détails des calculs concernant les échanges thermiques avec l'aquifère ne sont pas précisés.

Une estimation du temps nécessaire au réchauffement du fluide refroidi par l'effluent est réalisée en tenant compte de l'apport thermique par les épontes. Le rayon d'influence thermique est calculé à partir du volume d'eau injecté pendant le temps nécessaire pour réchauffer le fluide (temps calculé précédemment).

Les résultats des calculs montrent que l'injection d'un fluide à 25 °C à un débit de $70 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ n'a pas d'incidence thermique au-delà de 1 000 mètres du puits d'injection, distance atteinte par l'eau après 13 ans d'injection.

3.4.1.2 Avis du BRGM

Echanges thermiques avec l'aquifère:

Les calculs concernant les échanges thermiques avec l'aquifère sont à expliciter car aucun détail n'est donné. Ces calculs indiquent une baisse moyenne de la température au maximum de 7,5°C. Or dans la synthèse du dossier de demande de pérennisation de l'injection (GPN), il est fait mention d'une « température mesurée de 41°C au point d'injection lors du changement de tubing en 2011 », soit une baisse de température par rapport à la température initiale des eaux du Dogger (environ 75°C) d'environ 34°C. La différence entre les valeurs calculées et mesurées est à expliciter.

Remarque n°5

L'exploitant veillera à expliciter les calculs concernant les échanges thermiques avec l'aquifère.

Apport thermique par les épontes:

L'épaisseur d'aquifère considérée dans le calcul (20 m) correspond à l'épaisseur productive de Dogger. Or l'influence thermique liée à l'injection des effluents dans le Dogger ne se limite sans doute pas aux seules formations productives ; les formations moins productives étant influencées au moins par le phénomène de conduction thermique. La valeur de l'épaisseur d'aquifère considérée nécessite donc d'être davantage justifiée.

Même si l'on peut montrer que, dans le calcul réalisé, la valeur du rayon d'influence thermique ne dépend pas de l'épaisseur d'aquifère considérée, cette épaisseur est un paramètre important puisque le flux thermique inférieur réchauffant le fluide pourra être différent selon la profondeur considérée.

Plusieurs rapports publiés par le BRGM successivement en novembre 2010 (BRGM/RP-58834-FR)⁷ et mars 2012 (BRGM/RP-60996-FR)⁸, relatifs au projet de Gestion du Dogger de la région Ile-de-France, pourraient utilement être consultés.

Devant la difficulté de donner une valeur d'épaisseur et de flux thermique précise, une étude de sensibilité sur ces paramètres aurait pu permettre d'approcher des valeurs proches de situation réelle du site.

Il est fait référence à des résultats de simulations réalisées par Lopez et al. en 2010 sur un doublet géothermique. La comparaison avec les résultats obtenus sur le puits d'injection de Grandpuits est difficilement réalisable dans la mesure où les conditions sont différentes concernant :

- La différence de température entre les fluides : de 20 à 25°C contre environ 50°C sur le site de Grandpuits ;
- Les débits d'injection : de 190 à 270 m³/h contre environ 70 m³/h sur le site de Grandpuits.

Par ailleurs, les données du doublet de le Mée-sur-Seine (situé à environ 25 km de GPN) sont utilisées pour attester de la non influence du puits d'injection du site de Grandpuits sur les doublets géothermiques alentours. Les données présentées en annexe 4 montrent un suivi de la température depuis 1996. L'injection au droit du site GPN ayant lieu depuis les années 1970, il est difficile de mettre en évidence la présence ou l'absence d'influence. L'interprétation des données au niveau du doublet de le Mée-sur-Seine pourrait donc d'être complétée, notamment en utilisant les résultats d'exploitation du site géothermique de Melun-l'Almont, exploité depuis le début des années 70 et légèrement plus proche de Grandpuits que le Mée-sur-Seine, sous réserve que le pétionnaire puisse avoir accès à ces données.

L'impact thermique sur l'aquifère du Lusitanien n'est pas considéré dans l'étude alors qu'il s'agit de l'aquifère à usage avéré (en l'occurrence géothermique) le plus proche du Dogger. L'étude mériterait donc d'être approfondie en considérant cet aquifère.

Remarque n°6

⁷ Hamm V., Castillo C., Le Brun M., Goyeneche O. (2010) – Mise en oeuvre de la gestion de la ressource géothermique du Dogger de la région Ile-de-France dans le cadre du dispositif d'acquisition et de stockage des données - Rapport final de la phase 3. BRGM/RP-58834-FR, 153 p., 34 fig., 5 tabl., 11 ann.

⁸ Castillo C., Ignatiadis I. (2012) – Gestion de la ressource géothermique du Dogger de la région Ile-de-France - Année 2011. Rapport final. BRGM/RP-60996-FR.

L'exploitant veillera à réaliser une étude de l'impact thermique sur l'aquifère du Lusitanien.

Les points suivants demandent à être précisés ou corrigés :

NB 1 : La source d'information utilisée pour définir le flux thermique provenant de chacune des épontes (110 mW.m^{-2}) est à préciser.

NB 2 : Concernant l'apport thermique par les épontes, le volume injecté au bout de 13 ans semble être de 8.10^6 m^3 , et non d'environ 8.10^7 m^3 comme indiqué dans le rapport. Le cas échéant, cette valeur est à modifier uniquement pour une meilleure compréhension des calculs car le rayon d'influence calculé est identique à celui proposé.

3.5 MODELISATION DES MODES DEGRADES

3.5.1 Impact et conséquences d'incidents intervenant au niveau du puits d'injection

3.5.1.1 Endommagement de la tête de puits

Pas de calcul réalisé dans l'étude.

3.5.1.2 Rupture du packer

Pas de calcul réalisé dans l'étude.

3.5.1.3 Rupture du tubing

Pas de calcul réalisé dans l'étude.

3.5.1.4 Rupture du casing

L'impact d'une rupture de casing qui mettrait en communication les aquifères avec l'eau inhibée contenue dans l'espace annulaire casing-tubing a été évaluée. La charge à l'intérieur de l'annulaire étant supérieure à la charge piézométrique au niveau des aquifères, en cas de rupture, c'est l'eau contenue dans l'annulaire qui pénétrerait l'aquifère jusqu'à ce que la charge dans l'annulaire soit égale à la charge dans l'aquifère.

Le volume d'eau inhibée pénétrant dans les différents aquifères et ce, jusqu'à équilibre des pressions de part et d'autre de la rupture, a été calculé. Ce volume est de l'ordre de 1 m^3 au maximum.

Avis du BRGM :

Aucune remarque concernant le détail des calculs n'est formulée par le BRGM.

Néanmoins, afin de mettre en évidence la faiblesse du volume d'eau inhibée par rapport au débit des aquifères, il serait souhaitable de calculer le facteur de dilution pour chacun des aquifères.

3.5.1.5 Fuite liée à la cimentation

3.5.1.5.1 Fuite à travers la cimentation

Le débit pouvant transiter à travers la cimentation depuis le Dogger jusqu'au Néocomien et jusqu'aux calcaires de Champigny a été évalué. Cette évaluation, basée sur la formule de Darcy, est similaire à celle des transferts entre les différents aquifères.

Avis du BRGM :

Les débits pouvant transiter à travers la cimentation sont calculés, mais ne sont pas interprétés. De la même manière que précédemment, afin de mettre en évidence la faiblesse de ces débits par rapport au débit des aquifères, il apparaît utile de calculer le facteur de dilution dans chacun des aquifères.

La source d'information utilisée pour définir la perméabilité verticale (1.10^{-10} m/s) du ciment doit être précisée et justifiée. Le fait que cette valeur soit l'unique valeur attribuée à différents types de cimentation (excellente et bonne) est également à justifier. Par ailleurs, il n'apparaît pas dans le texte que ce scénario de « fuite à travers la cimentation » correspond à un scénario en « mode dégradé ». En effet, ce scénario est basé sur un état actuel de la cimentation et non sur un état dégradé. Le choix la valeur de la perméabilité verticale du ciment est donc à discuter. A défaut de connaître avec exactitude l'évolution de ce paramètre et afin de tenir compte de l'incertitude associée, une étude de sensibilité s'avère nécessaire.

L'impact sur l'Albien, qui n'est pas abordé, est à considérer.

Remarque n°7

L'exploitant veillera à évaluer l'impact sur l'Albien dans le cadre d'une fuite à travers la cimentation.

3.5.1.5.2 Fuite le long de l'interface roche-ciment

Cette occurrence n'est pas abordée par le calcul.

3.5.1.6 Combinaison d'incidents

3.5.1.6.1 Principe de l'étude

L'impact d'une combinaison d'incidents (par exemple, une rupture du casing et du tubing ou une rupture du casing et une perte d'étanchéité du packer) sur les nappes du

Néocomien, de l'Albien et du Champigny a été évalué en termes de dimensionnement du panache de pollution suivant deux hypothèses de durée de fuite (un mois et un an). Cette évaluation, basée sur la méthode de Wyssling, est similaire à celle considérée pour la définition de la géométrie de la bulle d'injection dans le Dogger.

Les résultats obtenus sont les suivants :

- Pour la nappe de l'Albien : le bulbe d'eau pénétrant dans l'Albien a une forme à peu près cylindrique, de rayon de l'ordre de 30 mètres après une durée de fuite de 1 mois, et de 100 mètres après une durée de fuite de 1 an. Ces calculs montrent, qu'en cas de nécessité, il y aurait largement le temps de réaliser un forage de fixation dans l'Albien.
- Pour la nappe du Néocomien: le bulbe d'eau pénétrant dans le Néocomien a une forme à peu près cylindrique, de rayon de l'ordre de 22 mètres après une durée de fuite de 1 mois, et de 75 mètres après 1 an. Comme pour l'Albien, ces calculs, montrent, qu'en cas de nécessité, il y aurait largement le temps de réaliser un forage de fixation au Néocomien.
- Pour la nappe de Champigny : Le bulbe d'eau ayant pénétré dans les Calcaires de Champigny a une forme étroite, au maximum de 90 mètres de large à la perpendiculaire du puits, et allongée :
 - Après 1 mois, le panache de pollution se sera étendu sur 40 mètres à l'amont et 140 mètres à l'aval ;
 - Après 1 an, il se sera étendu sur 50 mètres à l'amont et 1300 mètres à l'aval.

Si un tel accident se produisait, la méthode de récupération consisterait à mettre rapidement en place un forage de fixation et de récupération dans la nappe du Champigny. BURGEAP rappelle qu'une étude de faisabilité d'un forage de fixation a été réalisée en 2003 (BURGEAP, 2003) et qu'un piézomètre de contrôle a été mis en place juste en aval du puits d'injection, à une vingtaine de mètres de distance.

3.5.1.6.2 Avis du BRGM

Concernant l'application de la méthode de Wyssling, les remarques sont identiques à celles formulées précédemment : pour chacune des données d'entrée utilisée, une seule valeur est retenue. Or, comme montré au §3.1, plusieurs facteurs peuvent être source d'incertitudes concernant ces paramètres d'entrée. Il s'agit d'en tenir compte dans l'évaluation des impacts.

Le choix des données d'entrée utilisées pour mener les calculs appellent donc plusieurs remarques :

- pour la nappe de l'Albien :

La variabilité des paramètres hydrodynamiques exposée dans la partie A.4.2.4.2 (notamment la transmissivité et l'épaisseur de la formation) doit être prise en compte.

Le niveau retenu dans le calcul pour le Dogger est le niveau statique du Dogger avant injection (145 m NGF en 1995). Or le calcul du débit de fuite doit tenir compte de l'état de la pression au moment de la fuite. A moins qu'un système en tête de puits permette un retour rapide à un niveau de pression proche de celui avant injection, il est préférable (et plus majorant) de prendre en compte le niveau dynamique du Dogger pendant l'injection (environ 345 m NGF).

- pour la nappe du Néocomien :

Pour les mêmes raisons que précédemment, il est préférable de prendre en compte le niveau dynamique du Dogger.

La porosité retenue est de 15% alors qu'elle indiquée égale à 10% dans le paragraphe A.4.2.3.2. Cette valeur est à homogénéiser.

- pour la nappe des Calcaires de Champigny :

La variabilité des paramètres hydrodynamiques exposée dans la partie A.4.2.5.2 (notamment la transmissivité) doit être prise en compte.

Pour les mêmes raisons que précédemment, il est préférable de prendre en compte le niveau dynamique du Dogger.

3.5.2 Impacts liés aux variations de la qualité des effluents liés à des incidents de production

3.5.2.1 Principe de l'étude

Sur la base des scénarios d'incidents pouvant survenir sur le site de l'usine, une évaluation des impacts de la variation brutale de la qualité des effluents a été réalisée.

L'essentiel des scénarios étudiés conduit à une augmentation non négligeable mais ponctuelle des flux d'azote injectés dans le Dogger (voire de chlore ou de sodium). Au regard de l'injection actuelle des flux d'azote (respectivement chlore, sodium), et des impacts associés à ces flux, l'impact lié à l'augmentation momentanée de ces flux suite à un incident est considéré comme négligeable.

Seule la perte d'acide sulfurique dans les effluents, provoquant une forte hausse de la concentration en sulfates, pourrait conduire à la précipitation de gypse dans le Dogger et donc à un colmatage partiel du réservoir. Conséquemment, l'injectivité du puits pourrait s'en trouver affectée. La collecte se faisant vers le bassin des eaux de surface, la dilution permet de limiter l'impact de l'acide sulfurique (baisse de la concentration en sulfates) ; par ailleurs, l'arrivée de l'acide au traitement des eaux serait repérée grâce au suivi du pH.

3.5.2.2 Avis du BRGM

L'évaluation des impacts liés aux variations de la qualité des effluents causées par des incidents de production est traitée de manière qualitative. La réalisation de simulations en transport réactif permettrait d'évaluer plus précisément ces impacts, en évaluant notamment l'influence sur le « rayon d'action géochimique ».

Afin de ne pas multiplier le nombre de modélisations, les différents scénarios d'incidents peuvent être hiérarchisés selon leur probabilité d'occurrence. Deux scénarios impliquant des espèces modélisables, comme les nitrates, peuvent être retenus pour être modélisés.

Remarque n°8

L'exploitant veillera à compléter l'évaluation des impacts liés aux variations de la qualité des effluents liés à des incidents de production à l'aide de modélisations de type « transport-réactif ».

3.6 EVALUATION DES IMPACTS APRES FERMETURE DU PUIT

Une évaluation des flux pouvant transiter par le puits en provenance du Dogger et depuis la surface a été réalisée. Cette évaluation, menée à l'aide de la formule de Darcy, est similaire à celle des transferts entre les différents aquifères.

Avis du BRGM :

Cette partie n'appelle pas de remarque particulière hormis le fait que la source d'information utilisée pour définir la perméabilité du ciment de rebouchage (1.10^{-11} m/s) doit être précisée et justifiée.

3.7 REMARQUES ET DEMANDES DE PRECISIONS

Sont présentées ci-dessous, sous forme synthétisée, les remarques formulées par le BRGM communes aux différents thèmes abordés dans la partie modélisation du dossier expertisé.

Remarque n° 9

Afin de compléter les calculs, il conviendrait de réaliser une étude de sensibilité aux paramètres des modèles (notamment perméabilité, porosité, épaisseur des couches, pH alcalin) portant sur les aspects suivants :

- **Evaluation des transferts entre nappes hors injection ;**
- **Effets densitaires ;**

- **Evaluation des transferts entre nappes avec injection ;**
- **Dimensions de la bulle d'eau injectée ;**
- **Impacts d'une fuite à travers la cimentation ;**
- **Evaluation des impacts dans le cas d'une combinaison d'incidents.**

Remarque n°10

L'exploitant veillera à modifier l'évaluation des flux hors et avec injection issus du Dogger vers les aquifères sus-jacents en :

- **Evaluant les flux hydriques et massiques sur une surface plus adaptée que celle envisagée de 70 000 km²;**
- **Comparant ces flux avec les débits des aquifères dont la qualité doit être préservée;**
- **Réalisant les calculs sur différentes verticales (au moins 2) plus au moins proches du puits.**

4 Pertinence du suivi de la qualité des nappes en présence au droit du site

Les usages actuels des nappes en présence figurent dans le chapitre A4 et en partie dans le chapitre B8 du Rapport « Etude d'incidence pour la gestion des effluents de l'usine GPN de Grandpuits - Rapport RESIIF0037-13 – 29/05/2012 », référencé BURGEAP (2012) dans le présent rapport.

4.1 SYNTHÈSE DES USAGES DES NAPPES EN PRÉSENCE

4.1.1 Usage des nappes en présence

Nappe du Dogger

D'après la figure 11 du rapport BURGEAP (2012), 35 doublets géothermiques exploitent la nappe du Dogger en 2011. Il y a seulement trois doublets en fonction dans un rayon de 40 km environ à partir de l'usine de Grandpuits : Melun-l'Almont, Coulommiers et Le Mée sur Seine.

Les auteurs notent qu'en Seine et Marne, le Dogger n'est pas référencé comme une masse d'eau dans le SDAGE et qu'aucun objectif relatif à son état n'est fixé.

Nappe du Lusitanien

L'usage de cette nappe n'est pas traité dans le rapport.

Nappe du Néocomien et Nappe de l'Albien

Les ouvrages exploitant l'Albien et le Néocomien sont évoqués dans les chapitres A5.2 « Usages et exploitation des eaux souterraines » et dans le chapitre B8 « Modalités de surveillance des aquifères traversés » et B8.2 « Aquifères de l'Albien et du Néocomien ».

La nappe du Néocomien est considérée comme ressource d'eau douce stratégique et son exploitation est réglementée. Aucun forage captant les formations de l'Albien ou du Néocomien n'a été recensé à moins de 20 km du puits d'injection. Les ouvrages les plus proches captant l'Albien appartiennent au réseau de surveillance piézométrique ADES, et sont situés respectivement à 22 km au Sud et 22 km au Nord de l'usine respectivement.

Aucun forage n'est recensé dans la nappe du Néocomien en Seine et Marne (77). Un forage industriel captant le Néocomien sur la commune du Coudray-Montceaux (91) se situe à plus de 30 km à l'Ouest de l'usine.

Un ouvrage exploitant la nappe de l'Albien est recensé pour l'alimentation en eau potable à plus de 40 km au Sud-Ouest du puits et plusieurs ouvrages d'exploitation à des fins industrielles exploitent cette nappe à plus de 35 km à l'Est du site.

Nappe des Calcaires de Champigny

D'après le rapport BURGEAP (2012), la nappe des calcaires de Champigny est sujette à de nombreuses mesures pour limiter son usage (Zone de Répartition des Eaux, Arrêtés sécheresse, Arrêté cadre et arrêté spécifique pour restrictions coordonnées sur l'ensemble du bassin)

Les auteurs recensent 30 points de prélèvements dans un secteur de 10 km autour du site (usages agricole, eau potable, industriel). Deux forages, F1 et F3 bis, captent cette nappe et alimentent en partie l'usine GPN (1 km à l'Ouest du puits en aval hydraulique -figures 21 et 22). Il aurait été pertinent de rajouter la localisation du puits ainsi qu'un sens d'écoulement des eaux souterraines sur la Figure 22 (points de prélèvements déclarés dans un rayon de 10 km autour de l'usine). Il serait également nécessaire de spécifier dans le titre de la figure 22 quelle nappe est exploitée par les points référencés sur le plan.

Enfin, on note un puits à usage en eau potable à environ 4 km en aval latéral (sur la base de la piézométrie présentée en période de basses eaux).

Nappe des calcaires de Brie

D'après le rapport BURGEAP (2012), la qualité de la nappe de Brie s'est fortement dégradée et la ressource étant limitée, elle n'est plus exploitée dans le secteur d'étude.

4.1.2 Avis du tiers-expert sur l'usage des nappes en présence

Il convient de rappeler que, globalement, l'évaluation de la qualité des eaux souterraines superficielles ou intermédiaires (Albien, Néocomien et Lusitanien) doit être conduite au regard d'enjeux sanitaires et environnementaux liés à l'eau (guide MEDDE⁹). Les enjeux sanitaires sont liés à des usages constatés des eaux souterraines ou superficielles (captages AEP, puits de particuliers, etc.). Les enjeux environnementaux sont liés à la nécessité de préserver le milieu naturel. Ils comprennent en particulier les futures ressources en eau liées à des usages inscrits dans des documents administratifs.

L'étude des usages actuels et potentiels des diverses nappes superficielle ou intermédiaires en présence au droit du site pourrait utilement être complétée, notamment pour la nappe de l'Albien en tant que ressource stratégique.

⁹ Guide sur la Maîtrise et gestion des Impacts des polluants sur la qualité des Eaux souterraines (ESO) – MEEDDM V01 septembre 2009

Les auteurs omettent d'étudier l'usage de la nappe du Lusitanien. Il est seulement mentionné qu'elle est exploitée pour la géothermie. Une étude de reconnaissance de cet aquifère est en cours, avec l'objectif de déterminer le potentiel du Lusitanien en vue d'un futur développement géothermique destiné à alimenter des réseaux de chaleur dont les besoins des utilisateurs sont réduits, du fait de l'application de la réglementation thermique 2012 aux bâtiments nouveaux. Il sera donc important à l'avenir de traiter réellement l'usage de cet aquifère.

Le chapitre B8.2 couvrant les modalités de surveillance liste en détail les ouvrages captant le Néocomien et l'Albien les plus proches de l'usine. Cependant les informations ne sont pas complètement homogènes avec le chapitre A 5.2 « Usages et exploitation des eaux souterraines ». La figure 22 « Points de prélèvements déclarés dans un rayon de 10 km autour de l'usine » pourrait utilement reprendre les informations présentes dans le corps de texte concernant : la nappe exploitée par les ouvrages représentés (on présume la nappe des calcaires de Champigny), la position du puits d'injection ainsi que (le ou les) sens d'écoulement théorique(s) de la nappe en périodes de basses et hautes eaux, ces informations apparaissant dans le corps de texte

Les auteurs ne semblent pas avoir étudié la présence éventuelle de puits de particuliers captant les nappes productrices les plus superficielles, telles que la nappe des calcaires de Champigny. Les périmètres de protection des captages AEP ne sont pas mentionnés. Le rapport ne met pas non plus assez en avant le puits à usage AEP situé à environ 4 km en aval latéral qui apparaît potentiellement vulnérable de par sa position avale et sa faible distance du puits d'injection. Cet ouvrage figure néanmoins sur la figure 22 du dossier.

Les auteurs mentionnent la nappe de « l'Albien-Néocomien » comme une masse d'eau souterraine référencée par le SDAGE, mais ne présentent pas les objectifs relatifs à son état. Or ces objectifs pourraient éventuellement avoir une incidence sur l'avenir de l'injection d'effluent actuellement autorisée.

Par ailleurs, les forages exploitant le Dogger (aquifère profond) sont localisés sur la figure 11 du rapport, mais les points ne sont pas référencés. Il convient de considérer, pour cet aquifère qui ne fait l'objet que d'un usage énergétique, l'incidence de l'injection d'effluents froids et chimiquement différents de la géochimie de l'aquifère comme une contrainte technique limitant le développement géothermique du Dogger au sens du potentiel de développement de la géothermie basse énergie tels qu'il est évalué dans le Schéma Régional Climat Air Energie de la région Ile-de-France et des Plans Climat Energie territoriaux.

Ain de faciliter la compréhension du rapport, il aurait été pertinent de rassembler dans un même chapitre les informations relatives aux ouvrages adressés à chacun des aquifères considérés dans l'étude.

De plus, une enquête locale recensant les usages avérés de la nappe des Calcaires de Champigny (puits de particuliers notamment) aurait permis d'établir un inventaire

exhaustif des ouvrages exploitant cette nappe. Il s'agit d'une démarche usuelle lors de la réalisation d'études d'impact d'ICPE.

Un résumé des objectifs de qualité issu du SDAGE relatif à chaque masse d'eau serait souhaitable.

Il serait aussi souhaitable d'appuyer ces informations par des plans clairs de localisation des divers points d'exploitation incluant la localisation du puits d'injection avec si possible, les périmètres de protection dans le cas d'AEP et le sens d'écoulement pour chacune des nappes étudiées.

Sur la base des informations rassemblées et collectées, l'exploitant veillera à étudier clairement la vulnérabilité de chacune des cibles potentiellement identifiées. Cette information est nécessaire pour la réflexion sur le suivi de la qualité des eaux souterraines superficielles et intermédiaires et sur les contraintes limitant le développement énergétique de l'aquifère profond du Dogger.

4.2 PERTINENCE DU SUIVI DE LA QUALITE DES NAPPES EN PRESENCE

Le dispositif de suivi de la qualité des nappes en présence figure dans le chapitre B8 du Rapport « Etude d'incidence pour la gestion des effluents de l'usine GPN de Grandpuits - Rapport RESIIF0037-13 – 29/05/2012 », référencé BURGEAP (2012) dans le présent rapport, et dans la réponse de GPN à la DRIEE datée du 22/06/2012.

4.2.1 Caractérisation des polluants potentiels

Les polluants potentiels à considérer sont l'effluent injecté et le fluide inter annulaire du puits d'injection.

Le produit annulaire est constitué d'eau additionnée d'un inhibiteur de corrosion (NORUST CR 486) dans des proportions de 3 l/m³.

D'après le rapport BURGEAP (2012), « l'effluent produit par l'usine est un effluent d'une salinité de l'ordre de 6 g/l. Il contient principalement des composés azotés (nitrates et ammonium essentiellement, à des concentrations respectives de l'ordre de 1,7 g/l et 290 mg/l), ainsi que les ions chlorures (1,5 g/l), sulfates (180 mg/l), calcium (# 0,5 g/l) et sodium (# 0,9 g/l) » et il présente un pH de 7,7 environ.

Depuis 2003, le volume d'effluent produit par l'usine a eu tendance à baisser. Depuis 2007, il est en moyenne de 1 070 m³/jour. Les flux d'azote et de sels totaux ont également eu tendance à diminuer entre 2003 et 2011. Seuls les flux de matières en suspension et de phosphore ont légèrement augmenté sur cette même période. D'après les auteurs, les évolutions prévues au niveau de l'usine, en particulier l'installation d'une nouvelle unité de déminéralisation et la neutralisation des effluents par de l'acide chlorhydrique, en remplacement de l'acide nitrique actuellement utilisé,

devraient permettre une réduction du flux de nitrates dans les effluents de l'ordre de 600 kg/jour.

D'après le rapport « Dossier puits profond V0 », une recherche sur les substances potentiellement pertinentes contenues dans l'effluent injecté a été réalisée en décembre 2011. Seuls de faibles quantités de formaldéhyde et vanadium ont été détectées au-dessus des limites de détection.

4.2.2 Dispositif de suivi de la qualité des nappes en présence

Nappe du Dogger

D'après Rapport BURGEAP (2012), l'usine GPN ne dispose d'aucun ouvrage destiné à la surveillance de la nappe du Dogger en termes d'impact thermique et physico-chimique. Seuls les paramètres suivants sont suivis à partir du puits d'injection SEIF-1.1 : débit d'injection, pression d'injection, suivi de la corrosion, test d'arrêts d'injection, mesure du diamètre de l'open hole, niveau du fluide annulaire. Certains paramètres relatifs à l'effluent injecté sont aussi mesurés.

Les auteurs avancent que les forages géothermiques dans le Dogger les plus proches se situent au-delà de la zone impactée par l'injection au droit du puits. La zone d'influence de l'injection dans le Dogger aurait un rayon d'environ 2 000 m après une injection continue de 60 ans à 70 m³/h. Le rayon d'impact thermique serait de 1 000 m et le rayon d'action géochimique de 135 m.

Ainsi, il n'est pas jugé utile de mettre en place un piézomètre de surveillance directe suffisamment proche du puits pour surveiller l'impact de l'effluent sur la nappe du Dogger.

Les auteurs considèrent que la mise en place d'un ouvrage de surveillance dans le Dogger permettrait de connaître la pression, la température et la chimie des eaux de la nappe mais impliquerait :

- Que les risques pour les aquifères sus-jacents seraient multipliés par deux (risques en mode dégradés recensés au paragraphe B5.1) ;
- Que les risques liés aux opérations de maintenance et de work-over seraient multipliés par 2 (paragraphe B2.3) ;
- Des risques de mise en communication entre les aquifères et des risques associés à la mise en production régulière du puits.

Nappe du Lusitanien

Les besoins en surveillance de cette nappe ne sont pas mentionnés dans le rapport BURGEAP (2012).

Nappes de l'Albien et du Néocomien

D'après le Rapport BURGEAP (2012), l'usine GPN ne dispose d'aucun ouvrage destiné à la surveillance ou à l'exploitation des nappes de l'Albien et du Néocomien.

Les auteurs jugent les forages exploitant l'Albien et le Néocomien qu'ils ont recensés trop éloignés du puits d'injection pour pouvoir être utilisés comme ouvrages de surveillance. Ils se basent notamment sur des simulations en cas de perte d'intégrité du puits d'injection (rupture totale au niveau de l'Albien ou du Néocomien). Le bulbe de l'effluent pénétrant ces nappes aurait, selon ces calculs, un rayon d'environ 100 m après une durée de fuite d'un an. Ils avancent que la surveillance de la pression au niveau du puits et du niveau du liquide annulaire permet de contrôler son intégrité et de détecter d'éventuelles fuites dans ces deux nappes. Ainsi, ils ne jugent pas utile de mettre en place un piézomètre de surveillance directe suffisamment proche du puits pour détecter ces fuites en cas de perte d'intégrité.

De plus, les auteurs ne trouvent pas non plus d'intérêt à un tel ouvrage pour surveiller un éventuel flux d'effluent ascendant provenant du Dogger ou d'éventuelles fuites à travers la cimentation du puits. Ils estiment que les impacts associés à de telles éventualités sont trop faibles pour être pris en compte (fuite liée à la cimentation estimée à 0,2l/an et temps de transfert à travers les formations géologiques d'environ 100 000 ans).

Les auteurs considèrent que la mise en place d'ouvrages de surveillance dans l'Albien ou le Néocomien engendrerait des risques d'impacts directs sur ces aquifères.

Nappe des Calcaires de Champigny

D'après le Rapport BURGEAP (2012), le suivi de la nappe des calcaires de Champigny est assuré par l'ouvrage de surveillance Pz7 mis en place en 2003 et situé immédiatement à l'aval du puits d'injection (20 mètres à l'Ouest).

Suite à l'essai de pompage réalisé sur Pz7 en 2003, les auteurs concluent que cet ouvrage permet de réaliser un suivi représentatif de la qualité des eaux de la nappe de Champigny en aval du puits d'injection.

Cet ouvrage est suivi en continu par une sonde automatique pour la conductivité, la température et la piézométrie. Des prélèvements sont réalisés deux fois par an pour l'analyse des paramètres suivants : Ca, Mg, Na, K, HCO₃, Cl, SO₄, NTK, NO₃, NO₂, NH₃.

Le piézomètre Pz7 a pour vocation de détecter rapidement des évolutions anormales des paramètres physico-chimiques de la nappe, en particulier un envahissement d'eau du Dogger ou d'effluent suite à une rupture d'intégrité du puits. Les eaux du Dogger et de l'effluent étant plus chaudes et plus salines, la conductivité et la température ont été retenus comme indicateurs.

Nappe des calcaires de Brie

Les besoins en surveillance de cette nappe ne sont pas mentionnés dans le rapport BURGEAP 2012.

4.2.3 Avis du tiers-expert sur la pertinence du suivi de la qualité des nappes en présence

4.2.3.1 Rappel des dispositions de surveillance des eaux souterraines pour les installations classées

D'après l'article 65 de l'arrêté du 2 février 1998¹⁰, les installations soumises à autorisation et figurant dans le tableau de ce même article doivent respecter les dispositions suivantes :

1. Deux puits, au moins, sont implantés en aval du site de l'installation ; la définition du nombre de puits et de leur implantation est faite à partir des conclusions d'une étude hydrogéologique ;
2. Deux fois par an, au moins, le niveau piézométrique est relevé et des prélèvements sont effectués dans la nappe. La fréquence des prélèvements est déterminée sur la base notamment d'une étude hydrogéologique ;
3. L'eau prélevée fait l'objet de mesures des substances pertinentes susceptibles de caractériser une éventuelle pollution de la nappe compte tenu de l'activité, actuelle ou passée, de l'installation.

Ces dispositions peuvent être rendues applicables à toute installation présentant un risque notable de pollution des eaux souterraines, de par ses activités actuelles ou passées, ou de par la sensibilité ou la vulnérabilité des eaux souterraines."

Toutefois, il ne semble pas que les activités du site GPN imposent, d'un point de vue réglementaire, la mise en place d'un tel réseau.

4.2.3.2 Rappel des objectifs d'un dispositif de surveillance des eaux souterraines

D'après le guide du MEDDE¹¹, la mise en place d'un dispositif de surveillance des eaux souterraines est le complément indispensable permettant de vérifier l'efficacité des mesures préventives mises en place. Il consiste en un réseau de forages de suivi et un programme de mesures permettant d'évaluer la qualité des eaux souterraines.

¹⁰ Article 65 - Section III « Surveillance des eaux souterraines » - Arrêté du 02/02/98 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation

¹¹ Guide sur la Maîtrise et gestion des Impacts des polluants sur la qualité des Eaux souterraines (ESO) – MEEDDM V01 septembre 2009

Ce guide différencie deux contextes possibles pour motiver une surveillance des eaux souterraines dans le cas de pollutions ponctuelles potentielles : la surveillance *a priori* (dispositif d'alerte pour la protection de la qualité des eaux souterraines) et la surveillance *a posteriori* (visant l'amélioration de la qualité des eaux suite à une pollution).

Le dispositif de la surveillance de la qualité des eaux souterraine peut être associé à des objectifs différents, complémentaires les uns des autres. Ce sont notamment des objectifs de contrôle (dispositif ponctuel dans le temps), de suivi (répété et continu, outil de prévention visant à montrer l'absence de dégradation), de connaissance et de compréhension.

4.2.3.3 Avis du BRGM sur la surveillance de la qualité des eaux souterraines

4.2.3.3.1 Propositions de surveillance des eaux souterraines dans le cas de l'installation GPN Grandpuits

Le suivi de la qualité des diverses nappes traversées par le puits d'injection n'est pas clairement présenté dans le rapport BURGEAP (2012). Les auteurs ne mettent pas clairement en avant quels devraient être les objectifs et les besoins en réseaux de surveillance pour chacune des nappes en présence, notamment pour « la surveillance *a priori* ».

Les auteurs omettent de commenter le besoin d'un suivi ou non dans la nappe du Lusitanien et la nappe des Calcaires de Brie. Or, sur la base des informations présentées, toutes les nappes étudiées sont des cibles potentielles à considérer.

Pour évaluer la pertinence de réseaux de surveillance, il aurait été nécessaire de présenter, dans un paragraphe ou chapitre séparé, les polluants potentiels associés à l'effluent et au liquide annulaire ainsi que la vulnérabilité des diverses nappes en présence.

4.2.3.3.2 Surveillance proposée pour les nappes du Dogger, de l'Albien et du Néocomien

Les auteurs ne proposent pas de suivi de la qualité des eaux souterraines à partir d'ouvrages de surveillance des nappes du Dogger, de l'Albien et du Néocomien. Ils ne proposent pas non plus de nouveaux ouvrages qui pourraient permettre d'affiner les connaissances de l'hydrogéologie locale. Les auteurs s'appuient sur les risques de transferts pour ne pas proposer d'ouvrages de suivi.

Les auteurs reprennent de plus l'avis du BRGM de 2002 tendant à considérer que la mise en place d'ouvrages de surveillance dans l'Albien ou le Néocomien engendrerait des risques d'impacts direct sur ces aquifères, notamment du fait d'infiltrations depuis la surface qui pourraient endommager notamment la tête de puits. Il faut toutefois noter qu'un tel problème ne peut survenir que si le forage n'est pas réalisé dans les règles de l'art et lorsque la cave de tête de puits ne bénéficie pas d'une étanchéité suffisante,

de la présence d'une pompe vide-cave en cas d'épanchement d'eau météorique ou accidentelle en fond de cave et d'une maintenance suffisante.

Sur le principe, les propositions de non surveillance des nappes du Dogger, de l'Albien et du Néocomien (en dehors du suivi du niveau du fluide annulaire) demandent à être plus amplement justifiées d'un point de vue technique.

En particulier, la nappe de l'Albien, voire celle du Néocomien, en tant que ressources stratégiques du bassin de Paris mériteraient une surveillance de ses eaux.

De plus, l'absence de réseau de surveillance de ces trois nappes ne permettra pas de juger des impacts potentiels réels sur la base desquelles les meilleures options de gestion des pollutions accidentelles doivent être dimensionnées.

Une étude de sensibilité pourrait être réalisée, sur la gamme de valeurs utilisées dans les divers modèles de l'étude d'incidence (voir Remarque n°9) pertinentes pour consolider les choix relatifs à la réalisation ou non d'investigations complémentaires et la mise en place de forages de surveillance dans les aquifères profonds, voire moins profonds.

Remarque n°11

L'exploitant s'engagera à réaliser une analyse technico économique des coûts et bénéfiques associés à la mise en place d'un réseau de surveillance dans chacune des nappes étudiées, en prenant en compte leur vulnérabilité. Cette étude considèrera les 3 objectifs possibles de tels ouvrages :

- **Surveillance et vigilance/alerte en cas de fuites ;**
- **Calage des modélisations par un renforcement des connaissances hydrogéologiques ;**
- **Points d'accès aux nappes ou à la nappe susceptible d'être valorisés en pompage en cas d'impact jugés inacceptables.**

Les résultats de cette étude combinés aux résultats de l'étude de sensibilités sur la gamme de valeurs utilisées dans les modèles de l'étude d'incidence, permettront de réévaluer plus pertinemment le besoin en réseaux de surveillance dans chacun des nappes.

4.2.3.3.3 Surveillance proposée pour la nappe des Calcaires de Champigny

Le suivi de la qualité des eaux souterraines de la nappe des Calcaires de Champigny est actuellement assuré par un seul ouvrage (en aval du puits), ce qui n'est pas suffisant pour juger de l'impact éventuel du site. Notamment, en l'absence d'ouvrage amont, le réseau actuel ne dispose pas de référence pour statuer quant à un éventuel impact sur la nappe.

Les paramètres de suivi automatique et continu de la nappe des Calcaires de Champigny paraissent pertinents pour détecter une anomalie, en particulier l'utilisation d'indicateurs tels que la température et la conductivité.

Sur la base de la coupe technique figurant au rapport (annexe 19), la constitution de l'ouvrage de surveillance apparaît adéquate pour surveiller uniquement la nappe des calcaires de Champigny.

Remarque n°12

Bien qu'il n'y ait pas d'obligation réglementaire, compte tenu des activités de GPN, et des usages de la nappe des calcaires de Champigny, il semble nécessaire que l'exploitant complète le réseau de surveillance de cette nappe par au-moins deux ouvrages supplémentaires (au minimum un amont et un aval).

Tous les ouvrages de surveillance devront être suivis pour les mêmes paramètres et ce sur le même pas de temps. Des ouvrages existants peuvent être éventuellement utilisés si leurs emplacements et constitutions sont adéquats pour les besoins du suivi.

5 Pertinence des mesures de gestion de pollution accidentelle

5.1 DISPOSITIONS PROPOSEES POUR LA GESTION DE POLLUTIONS ACCIDENTELLES ET DE CONTAMINATIONS EVENTUELLES EN CAS DE FUITE D'EFFLUENT OU DE FLUIDE ANNULAIRE

Les différentes dispositions proposées pour la gestion de pollutions accidentelles et de contaminations éventuelles des nappes, vis-à-vis d'une fuite d'effluents ou d'une fuite de fluide annulaire sont présentées dans les documents suivants :

- Annexe 8 : Etude de danger injection en puits profond ;
- Annexe 9 : Procédure NH₃ 3/057-E Plan d'urgence environnementale puits d'injection profonde ;
- Annexe 10 : Procédure NH₃ 3/060-E Plan d'urgence environnemental de dépollution de la nappe de Champigny ;
- Chapitre 5 du rapport BURGEAP n°RESIIF00376-13/CESIIF1110049 du 29 mai 2012 « Etude des modes dégradés ».

L'annexe 9 du DDAE (NH₃ 3/057-E) est une proposition de plan d'action d'urgence visant à maîtriser et gérer une fuite au niveau du puits d'injection et ses possibles conséquences environnementales.

Quatre cas de figures sont considérés :

- 1) Cas 1, celui d'une fuite en tête de puits et/ou sur la conduite d'amenée au puits ;
- 2) Cas 2, une fuite du tubing ou packer ;
- 3) Cas 3, une fuite du casing ;
- 4) Cas 4, le colmatage du puits d'injection.

Ces différents cas de figures sont clairement décrits et leurs conséquences évaluées au chapitre 5 du rapport BURGEAP du 26 mai 2012 : endommagement de la tête du puits, rupture du packer, rupture du tubing, rupture du casing, fuite au travers de la cimentation, fuite de long de l'interface ciment / terrains de formation, combinaison d'incidents.

L'impact d'une fuite accidentelle au niveau du puits d'injection (rupture du casing et du tubing ou une rupture du casing et une perte d'étanchéité du packer) sur les nappes du Néocomien, de l'Albien et du Champigny a été évalué en termes de dimensionnement du panache de pollution. Ces évaluations (basées sur des combinaisons d'incidents) sont exposées au chapitre 5. Pour rappel :

- Pour la nappe de l'Albien : le bulbe d'effluents a une forme à peu près cylindrique, de rayon de l'ordre de 30 mètres après une durée de fuite de 1 mois, et de 100 mètres après une durée de fuite de 1 an ;
- Pour la nappe du Néocomien: le bulbe d'effluents a une forme à peu près cylindrique, de rayon de l'ordre de 22 mètres après une durée de fuite de 1 mois, et de 75 mètres après 1 an ;
- Pour la nappe de Champigny : le bulbe d'effluents a une forme étroite, au maximum de 90 mètres de large à la perpendiculaire du puits, et allongée :
 - Après 1 mois, le panache de pollution se sera étendu sur 40 mètres à l'amont et 140 mètres à l'aval ;
 - Après 1 an, il se sera étendu sur 50 mètres à l'amont et 1300 mètres à l'aval.

Pour les 4 cas de figure de l'Annexe 9, l'exploitant expose les moyens de détection et de diagnostic des incidents. Enfin, les actions et moyens de prévention de pollution pour les 4 situations potentielles exposées sont présentés.

Si de tels accidents se produisaient, conduisant à des pertes d'effluents et/ou du fluide de l'annulaire dans le milieu aquifère des Calcaires de Champigny, la méthode de récupération consisterait à mettre rapidement en place un forage de fixation et de récupération.

BURGEAP rappelle qu'une étude de faisabilité d'un forage de fixation a été réalisée en 2003 (BURGEAP, 2003) sur la nappe des calcaires de Champigny et qu'un piézomètre de contrôle et d'alerte (PZ7 de 66 m de profondeur) a été mis en place dans cet aquifère juste en aval du puits d'injection, à une vingtaine de mètres de distance. Ainsi, BURGEAP propose :

- Une implantation prévisionnelle et potentielle du puits de fixation de 70 m de profondeur à 350 m au Nord-Ouest du puits d'injection ;
- Le forage du puits de 70 m de profondeur en Ø400 /300 mm avec un équipement tube PVC Ø250 mm, et cimentation en tête sous pression de l'espace annulaire ;
- Les débits de pompage devront être équivalents à deux fois le débit de fuite (le dimensionnement de la zone d'appel du puits ayant été basé sur une hypothèse maximaliste de 100 m³/h et une fuite de 25 m³/h par BURGEAP).

L'exploitant précise que les eaux pompées lors de la fixation devront être traitées avant leur rejet.

Des listes de prestataires de services (ingénierie, forage, métrologie) susceptibles d'être consultés lors d'incidents de type 1, 2, 3 ou 4 figurent en fin des documents des Annexe 9 et Annexe 10.

Les données présentées ne renseignent pas toujours de façon pertinente l'hydrogéologie locale. En particulier, les niveaux piézométriques des différents aquifères sus-jacents au Dogger restent peu renseignés dans le voisinage du puits. Ceci est lié au faible nombre de données disponibles relatives à la surveillance des eaux souterraines dans le voisinage du puits d'injection. De plus, le Lusitanien est très peu abordé dans la synthèse hydrogéologique locale.

L'impact d'une rupture de casing qui mettrait en communication les aquifères avec l'eau inhibée contenue dans l'annulaire casing-tubing a été évaluée. La charge à l'intérieur de l'annulaire étant supérieure à la charge piézométrique au niveau des aquifères, en cas de rupture, c'est l'eau contenue dans l'annulaire qui pénétrerait l'aquifère jusqu'à ce que la charge dans l'annulaire soit égale à la charge dans l'aquifère.

Le volume d'eau inhibée pénétrant dans les différents aquifères et ce, jusqu'à équilibre des pressions de part et d'autre de la rupture, a été calculé. Ce volume estimé est de l'ordre de 1 m³ au maximum.

5.2 AVIS DU TIERS-EXPERT SUR LA LA GESTION DE POLLUTIONS ACCIDENTELLES ET DE CONTAMINATIONS EVENTUELLES

Le BRGM considère l'approche du BURGEAP valide et conforme. Toutefois, si on considère que les mesures de gestion de l'impact de fuite ont vocation à être efficaces et opérationnelles, les mesures proposées paraissent insuffisantes et peu adaptées à une situation de gestion d'événement accidentel.

En effet, la pertinence des mesures proposées par l'exploitant est remise en cause par :

- L'absence de réseau de surveillance en place permettant de juger des impacts réels sur la base duquel dimensionner les meilleures options de gestion (en particulier les débits de pompages des puits avec la géométrie / extension de leur zone d'appel), en dehors du suivi du niveau du fluide annulaire, et du piézomètre de contrôle de la nappe des calcaires de Champigny. Le puits d'injection n'est pas équipé, à la connaissance du BRGM, d'un dispositif permettant de situer le niveau d'une fuite éventuelle ;
- Les connaissances géologiques et hydrogéologiques des différents aquifères qui montrent très bien qu'il s'agit pour l'essentiel de réservoirs aquifères à porosité de fissures (à l'exception des sables Verts de l'Albien où l'hétérogénéité est le fait des alternances de niveaux argileux et sableux, et des

sables du Néocomien) et que ces réservoirs sont toujours emprunts d'hétérogénéités aux échelles métriques et pluri décamétriques. Ainsi, vues ces incertitudes il est peu vraisemblable que la modélisation proposée puisse rendre compte de la réalité des faits (exceptés pour l'Albien et le Néocomien) et des impacts en cas de fuite ; de fait la réalisation d'un seul puits de fixation censé être efficace (capter les flux émis par la ou les fuites) , couteux et dans des délais de réalisation très courts, apparaît risquée (sur-sous dimensionnement, implantations non optimale, etc.) ;

- un délai de réalisation et de mise en œuvre de 1 mois (pour les calcaires de Champigny) à 2 mois (Albien et Néocomien) qui semble peu réaliste si on considère l'aspect opérationnel d'une telle mesure, 1) nécessitant un processus de consultation des entreprises et de contractualisation préliminaires, 2) les délais d'intervention des sociétés spécialisées pour de tels forages, au regard des disponibilités des moyens humains et matériels, 3) l'exécution du forage (sans incidents ou évènement pénalisants), 4) le développement de l'ouvrage et 5) l'installation et la mise en route de tous les dispositifs de pompage et de gestion des eaux pompées en aval de l'exhaure du puits (conduites , vannage, contrôle, unités de traitement, recherche des exutoires, etc.) ;
- Un puits de fixation (« pompage / traitement ») dimensionné sur un modèle théorique et sur les seuls aspects hydrauliques sans considération pour les capacités de traitement des eaux pompées. La discussion et l'argumentaire sur les capacités de traitement des eaux d'exhaure, aux débits dimensionnant, font défaut. Par ailleurs l'analyse de sensibilité et des incertitudes sur le positionnement du puits fait également défaut ;
- L'analyse technico économique et de coûts / bénéfiques de mesures de fixation des eaux de nappe polluées sur les autres aquifères fait défaut.

Remarque n°13:

Sur les aquifères les plus vulnérables, et après avoir dans un premier temps étayé les meilleurs choix en termes de mesures de surveillance, l'exploitant veillera dans un second temps à évaluer la possibilité de dimensionner des réseaux de surveillance des aquifères, dont les ouvrages puissent être utilisés le cas échéant en pompage pour soustraire aux milieux d'éventuels effluents fuyards. Cette stratégie couplant surveillance et mesures des risques potentiels présente un autre avantage, celui de répartir des débits de pompages, plus faibles qu'en un puits uniques, sur plusieurs ouvrages, ce qui permet de réguler les débits de proche en proche et de palier aux incertitudes liées à la répartition des polluants perdus dans le réservoir aquifère hétérogène impacté,

Les modalités de traitement des eaux pompées (rendement épuratoires entrée / sortie, etc.), de stockage, et les exutoires des rejets post traitement doivent être intégrées au dimensionnement et être clairement explicitées. Un planning prévisionnel des interventions doit également être établi.

6 Pertinence du suivi et du renouvellement de l'équipement du puits et de la proposition de fréquence de renouvellement

6.1 SUIVI ET RENOUVELLEMENT DE L'EQUIPEMENT

6.1.1 Equipement du puits et méthodologie actuelle de suivi

L'équipement du puits injecteur tel qu'il est décrit dans les documents de l'expertise est constitué d'un tubage double sur toute sa longueur, muni d'une cimentation périphérique, avec l'annulaire rempli de liquide adéquat : fioul jusqu'en 2011 puis eau inhibée. Le tubage constitué d'acier au carbone est équipé en protection cathodique permanente.

La méthodologie actuelle de suivi de l'intégrité du puits injecteur comporte i) la mesure et l'enregistrement du niveau du liquide dans l'annulaire, ii) la surveillance en continu de la protection cathodique des tubages iii) l'inspection périodique par diagraphie (biannuelle) , iv) le contrôle annuel de témoins de corrosion (coupons d'acier placés sur élément lui-même placé en amont de la tête de puits et parcouru par le fluide sur une période de temps précise en phase d'injection d'effluents, v) le tests d'étanchéité en pression de l'annulaire (annuel) et vi) des analyses de la nappe des calcaires de Champigny.

Les caractéristiques de fonctionnement ont été considérablement durcies au fil du temps. L'établissement de ces produits (puits et le suivi de son intégrité) résulte d'une très grande expérience provenant de deux professions exploitant les réservoirs profonds en région Parisienne : l'industrie pétrolière et la géothermie basse enthalpie.

Outre le suivi de l'intégrité du puits, il existe un suivi du fonctionnement (défini par l'arrêté préfectoral du 04 juin 2009) incluant notamment :

- Volume d'injection journalier moyen sur un mois : 1200 m³
- Pression d'injection maximum : 75 bars
- Conductivité : 40 000 10⁻³ mS/cm.
- pH compris entre 6,5 et 8,5.

Les résultats de ce suivi de l'intégrité du puits pendant la dernière décennie sont rapportés dans les documents de l'expertise. Il en ressort que :

- les inspections par diagraphie ont démontré que « le tubage du puits d'injection était intègre et en excellent état général ».
- Les témoins de corrosion ne présentaient aucune trace de corrosion.

- Le niveau de fioul dans la bêche est resté stable, ce qui indique une bonne étanchéité de l'annulaire.

6.1.2 Observations réalisées lors des opérations de renouvellement ultérieures

Les observations réalisées lors des opérations de contrôle de l'intégrité de puits et renouvellement ultérieures des tubages (telles qu'elles sont décrites dans les documents expertisés) montrent que le puits d'injection ne subit que de très faibles altérations de corrosion-dépôt. Ces faibles altérations paraissent absolument normales du fait de l'application d'une protection cathodique, dont l'efficacité est certaine sur la plus grande longueur du puits.

Rappelons que des opérations de work-over lourdes avec renouvellement du tubage du puits injecteur sont prévues tous les dix ans. La dernière a été faite durant été 2011.

6.1.3 Proposition de programme de renouvellement de l'équipement du forage

Basée sur le sur son retour d'expérience très positif, GPN propose que le renouvellement de l'équipement du puits d'injection soit réalisée en fonction des résultats du suivi de la qualité de cet ouvrage, et non plus sur la base d'un programme décennal systématique.

6.1.4 Avis du BRGM

L'équipement du puits injecteur et la méthodologie de suivi de l'intégrité du puits injecteur sont pertinents. En effet, ces deux postes paraissent appropriés et très pertinents par rapport à ce qui se fait dans la profession pétrolière et géothermique pour les puits de production et d'injection en Région parisienne.

Les retours d'expérience sur l'intégrité du puits et le programme de suivi complet de celui-ci (diagraphies, coupons de corrosion permettant de mesurer les vitesses de corrosion et de dépôts, tests d'étanchéité en pression de l'annulaire) permettent d'envisager un renouvellement de l'équipement sur la base des résultats de ce suivi.

Il semblerait toutefois pertinent de réaliser l'inspection par diagraphie à une fréquence annuelle. De plus, pour renforcer et compléter ces systèmes d'appréciation globaux, il serait prudent d'installer un dispositif de mesure instantanée de la corrosion et/ou de la biocorrosion (corrosimètres ou sondes de corrosion-biocorrosion). Ainsi, des mesures pertinentes seraient enregistrées pour des périodes plus courtes, mettant en évidence des éventuelles injections d'effluents acides ou basiques. Ceci est fondé compte tenu des aléas possibles dans les injections des fluides comme cela apparaît dans les documents de l'expertise.

6.2 INFLUENCE DU TRAITEMENT DES EFFLUENTS SUR LA CORROSION DU TUBING

6.2.1 Qualité actuelle des effluents et proposition de traitement

Selon les documents expertisés, le suivi de la qualité du tubage indique que, grâce notamment à la protection cathodique de celui-ci, les effluents actuels n'ont pas une influence majeure sur la corrosion de l'équipement du puits.

GPN pour limiter les flux injectés compte installer une nouvelle unité de déminéralisation et, afin de réduire charge azotée, utiliser de l'acide chlorhydrique à la place de l'acide nitrique pour neutraliser les effluents.

6.2.2 Influence du traitement sur la qualité des effluents et la corrosion des tubes

Les deux opérations (déminéralisation et utilisation de l'acide chlorhydrique), selon les documents expertisés, diminueront la charge en nitrate et n'augmenteront pas la charge en ions chlorures (déjà très conséquente). Ainsi, il est sous-entendu qu'aucun problème supplémentaire n'apparaîtra.

Notons également que des incidents pouvant survenir sur le site peuvent changer complètement la composition des effluents injectés. Citons, par exemple, des incidents comme une injection accidentelle, entre autres produits, d'acides forts et de bases fortes), et cela pendant une durée de 5 jours, selon les documents expertisés.

6.2.3 Avis du BRGM

L'installation d'une unité de minéralisation nouvelle et l'utilisation de l'acide chlorhydrique à la place de l'acide nitrique ne rendront pas les fluides injectés plus corrosifs à condition que la teneur en chlorures reste identique, ce qui ne sera pas le cas. Il serait donc nécessaire de démontrer que le nouveau traitement des effluents n'augmente pas le risque de corrosion du tubage.

Notons que l'ion chlorure est un élément très déstabilisant de la couche d'oxyde de fer (produits de la corrosion de l'acier au carbone) et la vitesse de corrosion généralisée de l'acier au carbone est une fonction croissante de sa concentration. La littérature rapporte que même les aciers inoxydables subissent une corrosion par piqures en présence de chlorure, certes plus faibles que les aciers au carbone.

Toutefois, des variations de la composition des effluents injectés peuvent survenir suite à des incidents (injection accidentelle d'acides forts et de bases fortes). Cette possibilité incite à la plus grande prudence concernant les injections.

Le BRGM propose donc qu'une étude complémentaire sur les risques de corrosion-dépôts soit réalisée en ce qui concerne notamment les tubages en acier ordinaire du puits injecteur. L'exploitant veillera à ce que cette étude soit réalisée sur les risques de corrosion-dépôts que pourrait engendrer la nature chimique des effluents injectés relativement aux tubages des puits en acier ordinaire exploitant le Dogger et à l'aquifère lui-même.

Remarque n°14

L'exploitant apportera la justification technique que le traitement des effluents à l'acide chlorhydrique ne conduit pas à une augmentation du risque de corrosion. L'exploitant veillera à ce que cette étude soit réalisée sur les risques de corrosion-dépôts que pourrait engendrer la nature chimique des effluents injectés relativement aux tubages des puits en acier ordinaire exploitant le Dogger et à l'aquifère lui-même.

Finalement, afin de s'affranchir de la gestion d'un puits dont le tubage est potentiellement corrodable s'il n'est pas protégé et suivi, il pourrait être pertinent d'installer un puits d'injection entièrement fait en matériau composite non corrodable, ce qui se pratique pour les forages géothermiques. Cette solution, certes plus chère en investissement, serait plus simple à gérer en termes de suivi de l'intégrité du forage.

7 Conclusions

Ces conclusions sont organisées en deux parties. La première partie après la relecture et la critique du dossier initial, qui a été soumise au pétitionnaire. La seconde partie après la prise en compte des réponses du pétitionnaire aux critiques de la première phase. L'éclairage ainsi apporté par le pétitionnaire sur certains points spécifiques a ainsi pu faire évoluer l'avis initial du BRGM.

7.1 AVIS DU BRGM SUR LE DOSSIER INITIAL

L'expertise des différents documents par le BRGM a consisté à détecter dans les documents soumis à l'expertise, eu égard à la réglementation en vigueur et aux règles de l'art, ce qui est conforme, ce qui manque et les incertitudes du dossier. Les conclusions par parties de l'expertise du dossier sont rappelées dans les paragraphes suivants.

Qualité de l'étude géologique et hydrogéologique

L'étude géologique est menée de l'échelle régionale à l'échelle locale, et comporte une synthèse des caractéristiques des principaux aquifères reconnus. La description des aquifères sus-jacents, et plus particulièrement de ceux exploités pour l'AEP, devra être complétée en fonction des remarques formulées dans le présent rapport. Enfin, une description plus approfondies des niveaux intercalaires entre les aquifères devra être réalisée, notamment sur l'aspect de la perméabilité.

Qualité des données et modélisation dans la nappe du Dogger

Globalement, la modélisation de l'influence de l'injection sur la nappe du Dogger et sur les nappes sus-jacentes est réalisée selon la même méthode et avec les mêmes hypothèses que lors de l'étude de 2002, depuis cette date, les modèles numériques ont évolués et permettent notamment de réaliser des calculs de transports réactifs plus adaptés au cas d'étude. De plus, les calculs réalisés ne prennent pas en compte la variabilité des paramètres d'entrée, inévitable à cette échelle d'étude, et sont menés avec des hypothèses qui ne sont pas les plus pénalisantes.

En conséquence, il est demandé au pétitionnaire de reprendre les calculs déjà réalisés avec un modèle de transport réactif, et de mener une étude de sensibilité vis-à-vis des paramètres susceptibles de fortement varier dans le temps et l'espace (notamment perméabilité, porosité, épaisseur des couches). Le pétitionnaire veillera de plus à justifier de manière plus rigoureuse le choix des hypothèses prises en compte (sources, valeurs, pertinences, ...).

Pertinence du dispositif de suivi des ressources en eau souterraine, adéquation des dispositions de gestion d'une pollution accidentelle

L'inventaire des usages des ressources en eau présentes au droit du site et la définition de leur sensibilité n'est pas complètement exhaustif et pourrait être complété, notamment pour les nappes du Lusitanien et de l'Albien, et plus particulièrement pour les calcaires de Champigny.

De même, les besoins en termes de réseau de surveillance pour chaque nappe ne sont pas clairement définis. Plus particulièrement, le réseau actuel de surveillance de la nappe des calcaires de Champigny n'est pas conforme aux règles de l'art et aux recommandations du MEDDE.

Concernant la pertinence des mesures de gestion proposées par l'exploitant en cas de fuite et d'impact inacceptable sur un ou plusieurs aquifères, le BRGM considère l'approche du BURGEAP valide et conforme. Toutefois, si on considère que les mesures de gestion de l'impact de fuite ont vocation à être efficaces et opérationnelles, les mesures proposées paraissent insuffisantes et peu réalistes, car dépendantes notamment d'hypothèses hydrogéologiques non vérifiées, d'un délai de réaction très bref des entreprises et du seul suivi du niveau de fluide annulaire comme dispositif de détection. De plus, la gestion des eaux pompées n'est pas précisée dans le dossier.

Suivi et renouvellement de l'équipement du puits, influence de la qualité des effluents sur la corrosion du tubing

Pour ce qui concerne l'influence de la qualité du traitement des effluents par acide chlorhydrique, l'exploitant devra justifier que le risque de corrosion n'est pas plus élevé avec les nouveaux effluents. On peut remarquer que l'équipement actuel du puits et le mode de suivi sont pertinents, et qu'un renouvellement de complétion sur la base des résultats de ce suivi peut être envisagé.

7.2 AVIS DU BRGM SUITE AUX REPONSES DU PETITIONNAIRE

La société GPN a apporté ses réponses aux remarques formulées dans le présent rapport le 14 septembre 2011 (rapport BURGEAP RESIIF010850 du 12/09/12). Ces réponses permettent d'apporter les réponses suivantes aux questions posées par la DRIEE (voir §1.2) :

- Q : Pertinence et actualisation des données prises en compte dans la description du Dogger ?

R : Suites aux compléments apportés par GPN à la demande du BRGM, les données prises en compte pour la description du contexte hydrogéologique (y compris Dogger) sont pertinentes et suffisamment récentes.

- Q : Pertinence de la modélisation de l'impact de la réinjection sur la qualité du Dogger et validité des résultats, y compris modèle géologique et hydrogéologique ?

R : Suite aux compléments apportés par GPN à la demande du BRGM, et plus particulièrement l'étude de sensibilité, on peut considérer que les résultats de la

modélisation de l'impact de la réinjection sur la qualité des eaux du Dogger sont pertinents, bien que certains points aient pu être mieux explicités.

- Q : Evolution des caractéristiques physico-chimiques de la nappe du Dogger au sein du bulbe de réinjection ?

R : Pour cette évaluation, l'utilisation d'un modèle de type transport réactif aurait été souhaitable, car correspondant aux meilleures techniques actuelles. Néanmoins, compte tenu des réponses apportées par GPN, les calculs réalisés permettent bien d'évaluer l'évolution des caractéristiques de la nappe du Dogger au sein du bulbe.

- Q : Influence de l'évolution de la quantité réinjectée et de la qualité des effluents sur la qualité de la nappe du Dogger ?

R : Les conclusions du dossier concernant ce point, au regard des documents initiaux et des compléments apportés, sont acceptables.

- Q : Pertinence du dispositif de suivi de la qualité des nappes en présence au droit du site, y compris étude hydrogéologique du site (nappes en présence, usages, sensibilités) ?

R : L'étude hydrogéologique initiale a été complétée suites aux remarques du BRGM. GPN s'engage notamment à suivre la qualité des eaux de deux ouvrages supplémentaires adressés aux Calcaires de Champigny. Les ouvrages retenus devront être validés par un hydrogéologue agréé. Ce suivi est complété par celui des calcaires de Brie, actuellement réalisé. Ainsi, les deux aquifères les moins profonds au droit du site seront contrôlés. L'étude de sensibilité produite par GPN à la demande du BRGM montre que la création d'ouvrages de suivi des nappes les plus profondes (Albien, Néocomien, Dogger) implique des coûts importants. GPN considère que la réalisation d'ouvrages adressés à ces aquifères n'est pas pertinente et insiste sur le suivi de la pression du fluide annulaire du puits comme élément pertinent de détection d'une fuite potentielle. Une variation de pression de ce fluide peut effectivement indiquer une communication entre celui-ci et un aquifère. Toutefois, il faut préciser que l'identification de l'aquifère concerné ne peut se faire qu'après mise en équilibre des pressions des eaux de cet aquifère et du fluide annulaire, et nécessite de connaître les niveaux piézométriques des nappes au droit du site.

- Q : Dispositions proposées pour la gestion de pollutions accidentelles et de contaminations éventuelles des nappes, vis-à-vis d'une fuite d'effluents ou d'une fuite de fluide annulaire ?

R : Les dispositions prises sont globalement pertinentes mais incomplètes. Notamment, la gestion des eaux issues des ouvrages de fixation n'est abordée ni dans le dossier initial, ni dans les compléments demandés par le BRGM à ce sujet. Or, ce point représente une étape non négligeable de la stratégie de

gestion d'une pollution accidentelle. Il semblerait pertinent que GPN établisse un plan de gestion complet et détaillé d'un événement accidentel (localisation, coupes techniques des ouvrages de fixation, techniques de forage, système de pompage, dispositifs de stockage et de traitement des eaux, exutoire des eaux traitées).

- Q : Impact du traitement (neutralisation du pH) des effluents sur la corrosion de l'équipement du puits ?

R : Les compléments apportés par GPN sont pertinents. Le changement de traitement des effluents ne semblent pas présenter d'impact sur la corrosion des tubes du puits, sous réserve que les conditions physico-chimiques (pH) de ceux-ci soient bien maîtrisées et contrôlées.

- Q : Suivi de l'évolution de l'équipement du puits (tubing) et proposition de fréquence de renouvellement ?

R : Le suivi actuellement réalisé est pertinent et suffisant pour juger de l'état des équipements du puits et du renouvellement de ceux-ci. Néanmoins, il serait intéressant de réaliser une diagraphie annuelle du forage.

Annexe 1

Compte rendu de la réunion de cadrage du 11 mai 2012



Réf. : D3E/3SP - BC/NP n° 2012-489

Orléans, le 15/06/2012

COMPTE RENDU DE RÉUNION	
Rédacteur : B. Chevrier	Entité : D3E/3SP
Projet : Tierce expertise de l'étude d'incidence du dossier de demande de renouvellement d'autorisation – Usine GPN de Granspuits (77)	Numéro : PSP12IDF10
Objet : Réunion de cadrage de la tierce-expertise	
Date : 11/05/2012	Lieu : DRIEE 77
Participants : Mme Panier, M. Bailly (DRIEE), Mme Dubosclard et Lejeune, M. Ouss (GPN), M. Shaper (Burgeap), M. Beraud (consultant), B. Chevrier (BRGM)	
Diffusion : Participants + L. Rouvreau, S. Colombano (BRGM – D3E/3SP), L. Closset (BRGM-DAT/IDF)	

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS
<p>1) Tour de table et présentations</p> <p>2) Le BRGM présente le cadre d'intervention, le déroulement d'une tierce-expertise et les intervenants du BRGM qui participeront à cette expertise.</p> <p>3) Reprise collégiale et précision des points à aborder lors de la tierce-expertise.</p> <p>Les points abordés par le BRGM dans le cadre de la tierce-expertise sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pertinence et actualisation des données prises en compte dans la description du Dogger ; - Pertinence de la modélisation de l'impact de la réinjection sur la qualité du Dogger et validité des résultats, y compris modèle géologique et hydrogéologique ; - Evolution des caractéristiques physico-chimiques de la nappe du Dogger au sein du bulbe de réinjection ; - Influence de l'évolution de la quantité réinjectée et de la qualité des effluents sur la qualité de la nappe du Dogger - Pertinence du dispositif de suivi de la qualité des nappes en présence au droit du site, y compris étude hydrogéologique du site (nappes en présence, usages, sensibilités) ; - Dispositions proposées pour la gestion de pollutions accidentelles et de contaminations éventuelles des nappes, vis-à-vis d'une fuite d'effluents ou d'une fuite de fluide annulaire - Impact du traitement (neutralisation du pH) des effluents sur la corrosion de

l'équipement du puits ;

- Suivi de l'évolution de l'équipement du puits (tubing) et proposition de renouvellement.

4) Planning

Le dossier de demande de renouvellement d'autorisation, complété et finalisé en fonction des attentes de la DRIEE, sera communiqué à la DRIEE et au BRGM en semaine 25.

Le rapport provisoire de tierce-expertise sera transmis à GPN en semaines 30-31 (fin juillet 2012).

En fonction du délai de réponse de GPN aux remarques formulées dans le rapport provisoire, le rapport final de tierce-expertise pourra être transmis à GPN pour la mi-septembre 2012 (semaines 37-38). Une réunion de clôture de la tierce-expertise sera organisée à cette période.

Action	Responsable	Délai	Soldé
Version définitive du dossier de demande	GPN	Sem 25	
Rapport de TE, en version travail	BRGM	Sem 30-31	
Rapport final de TE	BRGM	Sem 30-31	

Annexe 2

Rappel du contexte réglementaire

A. Cadre réglementaire général européen et national

A.1 La loi sur l'eau et les milieux aquatiques

En France, les fondements de la politique de l'eau actuelle sont essentiellement issus de trois lois :

- La loi sur l'eau du 16 décembre 1964, qui a organisé la gestion décentralisée de l'eau par bassin versant. C'est cette loi qui a créé les agences de l'eau et les comités de bassin ;
- La loi sur l'eau du 3 janvier 1992 consacre l'eau en tant que "patrimoine commun de la Nation." Elle a renforcé l'impératif de protection de la qualité et de la quantité des ressources en eau. Elle a mis en place de nouveaux outils de la gestion des eaux par bassin : les SDAGE et les SAGE ;
- La loi sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA) du 30 décembre 2006.

A.2 La directive cadre européenne sur l'eau

L'approche européenne est indispensable pour la gestion des cours d'eau et masses eau souterraine présents sur plusieurs pays de l'Union européenne.

La directive cadre sur l'eau (DCE) du 23 octobre 2000 (directive 2000/60) vise à donner une cohérence à l'ensemble de la législation avec une politique communautaire globale dans le domaine de l'eau. Elle définit un cadre pour la gestion et la protection des eaux par grand bassin hydrographique au plan européen, avec une perspective de développement durable.

B. Cadre réglementaire relatif à la réinjection dans les eaux souterraines européen et national

B.1 La directive cadre européenne sur l'eau (Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau)

L'Article 11, portant sur le Programme de mesures, point 3 point j de cette directive, définit le cadre général concernant les rejets dans les eaux souterraines : les rejets de polluants dans les eaux souterraines sont interdits, sauf dans certains cas, sous certaines conditions. Il est à noter que le cas de l'usine GPN de Grandpuits n'est pas compris dans les exceptions prévues par la directive :

- « *l'injection d'eau contenant des substances résultant d'opérations de prospection et d'extraction d'hydrocarbures ou d'activités minières et l'injection d'eau pour des raisons techniques, dans les strates géologiques d'où les hydrocarbures ou autres substances ont été extraits ou dans les strates géologiques que la nature rend en*

permanence impropres à d'autres utilisations. Ces injections ne contiennent pas d'autres substances que celles qui résultent des opérations susmentionnées,

- la réinjection d'eau extraite des mines et des carrières ou d'eau liée à la construction ou à l'entretien de travaux d'ingénierie civile,

- l'injection de gaz naturel ou de gaz de pétrole liquéfié (GPL) à des fins de stockage dans des strates géologiques que la nature rend en permanence impropres à d'autres utilisations,

- l'injection de gaz naturel ou de gaz de pétrole liquéfié (GPL) à des fins de stockage dans d'autres strates géologiques lorsqu'il existe un besoin impérieux d'assurer l'approvisionnement en gaz et que l'injection est effectuée de manière à éviter tout risque présent ou futur de détérioration de la qualité de toute eau souterraine réceptrice,

- la construction, le génie civil et les travaux publics et activités similaires sur ou dans le sol qui entrent en contact avec l'eau souterraine. À cet effet, les États membres peuvent déterminer que ces activités doivent être traitées comme ayant été autorisées à condition qu'elles soient menées conformément aux règles générales contraignantes qu'ils ont élaborées à l'égard de ces activités,

- les rejets de faibles quantités de polluants à des fins scientifiques pour la caractérisation, la protection ou la restauration des masses d'eau, ces rejets étant limités à ce qui est strictement nécessaire aux fins en question, à condition que ces rejets ne compromettent pas la réalisation des objectifs environnementaux fixés pour cette masse d'eau souterraine. »

B.2 Directive 2006/118/CE du Parlement européen et du Conseil du 12 décembre 2006 sur la protection des eaux souterraines contre la pollution et la détérioration

Cette directive découle de la directive cadre européenne sur l'eau. Son objet est le suivant :

« 1. La présente directive établit des mesures spécifiques visant à prévenir et à contrôler la pollution des eaux souterraines, conformément à l'article 17, paragraphes 1 et 2, de la directive 2000/60/CE. [...]

2. La présente directive complète également les dispositions destinées à prévenir ou à limiter l'introduction de polluants dans les eaux souterraines qui figurent déjà dans la directive 2000/60/CE et vise à prévenir la dégradation de l'état de toutes les masses d'eau souterraine. »

L'Article 6, portant sur les mesures de prévention ou de limitation des introductions de polluants dans les eaux souterraines, permet d'accepter le rejet de polluants dans les eaux souterraines si ceux-ci sont en quantité et concentration trop faible pour pouvoir avoir une influence notable sur la qualité de l'eau souterraine, ou si une alternative au rejet dans les eaux souterraines est techniquement impossible

sans augmenter les risques pour la santé humaine ou la qualité de l'environnement dans son ensemble, ou à des coûts disproportionnés.

Ainsi, le cas de l'usine GPN à Grandpuits peut s'inscrire dans ces exceptions, sous réserve d'une étude le démontrant :

«1. Afin de réaliser l'objectif consistant à prévenir ou à limiter l'introduction de polluants dans les eaux souterraines établi conformément à l'article 4, paragraphe 1, point b) i), de la directive 2000/60/CE, les États membres veillent à ce que le programme de mesures, défini conformément à l'article 11 de ladite directive, comprenne :

a) toutes les mesures nécessaires pour s'efforcer de prévenir l'introduction dans les eaux souterraines de toutes substances dangereuses, sans préjudice des paragraphes 2 et 3. Pour recenser ces substances, les États membres tiennent compte notamment des substances dangereuses appartenant aux familles ou aux groupes de polluants visés à l'annexe VIII, points 1 à 6, de la directive 2000/60/CE, ainsi que des substances appartenant aux familles ou aux groupes de polluants visés aux points 7 à 9 de ladite annexe, lorsqu'elles sont considérées comme dangereuses;

b) pour les polluants énumérés à l'annexe VIII de la directive 2000/60/CE qui ne sont pas considérés comme dangereux, ainsi que pour les autres polluants non dangereux non énumérés à ladite annexe pour lesquels les États membres estiment qu'ils présentent un risque réel ou potentiel de pollution, toutes les mesures nécessaires pour limiter les introductions dans les eaux souterraines, de telle sorte que ces introductions n'entraînent pas de dégradation ou de tendances à la hausse significatives et durables des concentrations de polluants dans les eaux souterraines. Ces mesures tiennent compte, au moins, des meilleures pratiques établies, notamment des meilleures pratiques environnementales et des meilleures techniques disponibles énoncées dans la législation communautaire pertinente.

Afin de définir les mesures visées aux points a) ou b), les États membres peuvent, dans un premier temps, préciser les cas dans lesquels les polluants énumérés à l'annexe VIII de la directive 2000/60/CE, notamment les métaux essentiels et leurs composés visés au point 7 de ladite annexe, doivent être considérés comme dangereux ou non dangereux.

2. Les introductions de polluants provenant de sources de pollution diffuses et ayant un impact sur l'état chimique des eaux souterraines sont prises en compte chaque fois que cela est techniquement possible.

3. Sans préjudice de prescriptions plus strictes établies par une autre législation communautaire, les États membres peuvent exclure des mesures prévues au paragraphe 1 les introductions de polluants qui sont :

a) le résultat de rejets directs autorisés conformément à l'article 11, paragraphe 3, point j), de la directive 2000/60/CE ;

b) considérés par les autorités compétentes comme étant présents en quantité et en concentration si faibles que tout risque, présent ou futur, de détérioration de la qualité de l'eau souterraine réceptrice est écarté ;

c) la conséquence d'accidents ou de circonstances exceptionnelles dues à des causes naturelles qui n'auraient raisonnablement pas pu être prévus, évités ni atténués ;

d) le résultat d'une recharge ou d'une augmentation artificielle de masses d'eau souterraine autorisée conformément à l'article 11, paragraphe 3, point f), de la directive 2000/60/CE ;

e) considérés par les autorités compétentes comme étant techniquement impossibles à prévenir ou à limiter sans recourir :

i) à des mesures qui augmenteraient les risques pour la santé humaine ou la qualité de l'environnement dans son ensemble; ou

ii) à des mesures d'un coût disproportionné destinées à éliminer des quantités importantes de polluants du sol ou du sous-sol contaminé ou à en contrôler l'infiltration dans ce sol ou ce sous-sol; ou

f) le résultat d'interventions concernant les eaux de surface destinées, entre autres, à atténuer les effets des inondations et des sécheresses et à assurer la gestion de l'eau et des cours d'eau, y compris au niveau international. Ces activités, telles que le déblayage, dragage, déplacement et dépôt de sédiments dans les eaux de surface, sont menées conformément aux règles générales contraignantes et, le cas échéant, aux permis et autorisations délivrés sur la base desdites règles, élaborées par les États membres à cet effet, pour autant que ces introductions ne compromettent pas la réalisation des objectifs environnementaux définis pour les masses d'eau concernées conformément à l'article 4, paragraphe 1, point b), de la directive 2000/60/CE.

Les exclusions prévues aux points a) à f) ne peuvent être appliquées que si les autorités compétentes des États membres ont constaté la mise en place efficace d'un contrôle de surveillance des eaux souterraines concernées, conformément à l'annexe V, point 2.4.2, de la directive 2000/60/CE, ou d'un autre contrôle approprié.

4. Les autorités compétentes des États membres tiennent un relevé des exclusions visées au paragraphe 3, à des fins de notification à la Commission, sur demande.»

B.3 Arrêté du 17 juillet 2009 relatif aux mesures de prévention ou de limitation des introductions de polluants dans les eaux souterraines

Cet arrêté est une transposition de la directive 2006/118/CE du Parlement européen et du Conseil du 12 décembre 2006. Ses Articles 9 à 12 reprennent en l'état les éléments contenus dans la directive cadre européenne et la directive concernant les rejets dans les eaux souterraines.

« Article 9. Les dispositions prévues à l'article R. 212-9-1 du code de l'environnement ne sont pas applicables aux rejets ponctuels directs suivants :

1. La réinjection dans le même aquifère d'eau utilisée à des fins géothermiques ;

2. L'injection d'eau contenant des substances résultant d'opérations de prospection et d'extraction d'hydrocarbures ou d'activités minières et l'injection d'eau pour des raisons techniques dans les strates géologiques d'où les hydrocarbures ou autres substances ont été extraits ou dans les strates géologiques que la nature rend en permanence impropres à d'autres utilisations. Ces injections ne contiennent pas d'autres substances que celles qui résultent des opérations susmentionnées ;
3. La réinjection d'eau extraite des mines et des carrières ou d'eau liée à la construction ou à l'entretien de travaux d'ingénierie civile ;
4. L'injection de gaz naturel ou de gaz de pétrole liquéfié (GPL) à des fins de stockage dans des strates géologiques que la nature rend en permanence impropres à d'autres utilisations ;
5. L'injection de gaz naturel ou de gaz de pétrole liquéfié (GPL) à des fins de stockage dans d'autres strates géologiques lorsqu'il existe un besoin impérieux d'assurer l'approvisionnement en gaz et que l'injection est effectuée de manière à éviter tout risque présent ou futur de détérioration de la qualité de toute eau souterraine réceptrice ;
6. La construction, le génie civil et les travaux publics et activités similaires sur ou dans le sol qui entrent en contact avec l'eau souterraine ;
7. Les rejets de faibles quantités de polluants à des fins scientifiques pour la caractérisation, la protection ou la restauration des masses d'eau, ces rejets étant limités à ce qui est strictement nécessaire à ces fins à condition que ces rejets ne compromettent pas la réalisation des objectifs environnementaux fixés pour cette masse d'eau souterraine ».

« Article 10. Les dispositions prévues à l'article R. 212-9-1 du code de l'environnement ne sont pas applicables aux rejets ponctuels directs ou indirects suivants :

1. L'introduction de substances dangereuses ou de polluants non dangereux qui sont la conséquence d'accidents ou de circonstances exceptionnelles dues à des causes naturelles qui n'auraient raisonnablement pas pu être prévus, évités ni atténués ;
2. L'introduction de substances dangereuses ou de polluants non dangereux qui sont le résultat d'une recharge ou d'une augmentation artificielle de masses d'eau souterraine. L'eau utilisée peut provenir de toute eau de surface ou eau souterraine à condition que l'utilisation de la source ne compromette pas la réalisation des objectifs environnementaux fixés pour la source ou pour la masse d'eau souterraine rechargée ou augmentée ;
3. L'introduction de substances dangereuses ou de polluants non dangereux considérés par les autorités compétentes comme étant techniquement impossibles à prévenir ou à limiter sans recourir :
 - à des mesures qui augmenteraient les risques pour la santé humaine ou la qualité de l'environnement dans son ensemble ;
 - à des mesures d'un coût disproportionné destinées à éliminer des quantités importantes de polluants du sol ou du sous-sol contaminé ou à en contrôler l'infiltration dans ce sol ou ce sous-sol ;

4. L'introduction de substances dangereuses ou de polluants non dangereux qui sont le résultat d'interventions concernant les eaux de surface destinées, entre autres, à atténuer les effets des inondations et des sécheresses et à assurer la gestion de l'eau et des cours d'eau, y compris au niveau international. Ces activités, telles que déblayage, dragage, déplacement et dépôt de sédiments dans les eaux de surface, sont menées conformément à la réglementation, pour autant que ces introductions ne compromettent pas la réalisation des objectifs environnementaux définis pour les masses d'eau concernées »

« Article 11. Pour les rejets ponctuels directs ou indirects qui n'entrent pas dans le cadre défini par les articles 9 et 10 ci-dessus, les dispositions de l'article R. 212-9-1 du code de l'environnement ne sont pas applicables lorsque les introductions de substances dangereuses ou de polluants non dangereux sont considérées par les autorités compétentes comme étant présentes en quantité et en concentration si faibles que tout risque, présent ou futur, de détérioration de la qualité de l'eau souterraine réceptrice est écarté.

Lorsque cela n'est pas déjà prévu par la réglementation, l'absence de risque, présent ou futur, de détérioration de la qualité de l'eau souterraine réceptrice par les substances dangereuses et par les polluants non dangereux doit être prouvée par une étude d'incidence appropriée.

Article 12. Les exclusions aux dispositions de l'article R. 212-9-1 du code de l'environnement prévues aux articles 9 à 11 ci-dessus ne peuvent être envisagées qu'après la mise en place d'un contrôle de surveillance des eaux souterraines concernées ou d'un autre contrôle approprié. »

Ainsi, les textes réglementaires européens et français actuels peuvent permettre d'accepter le rejet des effluents dans la nappe du Dogger de l'usine GPN à Grandpuits, sous réserve de démontrer que ces rejets peuvent répondre à une des exceptions prévues.

Il est à noter que l'effluent rejeté par l'usine GPN de Grandpuits contient des nitrates, nitrites, ammonium, sulfates, chlorures, zinc, MES (matières en suspension), DCO (demande chimique en oxygène), phosphore, ortho et polyphosphates, hydrocarbures, AOX (halogènes organiques adsorbables), chrome, cuivre, étain, calcium, magnésium et sodium. Certains de ces composés sont compris dans la liste indicative des principaux polluants de l'Annexe VIII de la directive cadre européenne.

Pour rappel, cette liste comprend :

« 1. Composés organohalogénés et substances susceptibles de former des composés de ce type dans le milieu aquatique.

2. Composés organophosphorés.

3. Composés organostanniques.

4. Substances et préparations, ou leurs produits de décomposition, dont le caractère cancérigène ou mutagène ou les propriétés pouvant affecter les fonctions stéroïdogénique, thyroïdienne ou reproductive ou d'autres fonctions endocriniennes dans ou via le milieu aquatique ont été démontrés.

5. *Hydrocarbures persistants et substances organiques toxiques persistantes et bio-accumulables.*
6. *Cyanures.*
7. *Métaux et leurs composés.*
8. *Arsenic et ses composés.*
9. *Produits biocides et phytopharmaceutiques.*
10. *Matières en suspension.*
11. *Substances contribuant à l'eutrophisation (en particulier, nitrates et phosphates).*
12. *Substances ayant une influence négative sur le bilan d'oxygène (et pouvant être mesurées à l'aide de paramètres tels que la DBO, la DCO, etc.). »*

Enfin, en complément, deux arrêtés antérieurs à la directive cadre européenne traitaient du rejet dans les eaux souterraines : l'Arrêté du 10 juillet 1990 relatif à l'interdiction des rejets de certaines substances dans les eaux souterraines en provenance d'installations classées, modifié par l'Arrêté du 26 avril 1993. Ces deux arrêtés sont moins contraignants que l'Arrêté du 17 juillet 2009.

C. Cadre réglementaire relatif à la réinjection dans les eaux souterraines du site GPN :

Le site GPN de Grandpuits est concerné par deux réglementations territoriales :

- le Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) du bassin versant de l'Yerres, correspondant au plateau sédimentaire de la Brie (comportant la nappe des calcaires de Champigny et la nappe des calcaires de Brie) ;
- un Arrêté Préfectoral en date du 31 juillet 2009 classant la nappe de Champigny (du sol jusqu'à l'Yprésien) en Zone de Répartition des Eaux (ZRE).

Annexe 3

Tableau de synthèse des remarques du tiers expert et des réponses du pétitionnaire

Mémoire de réponses du pétitionnaire

N°	Volet concerné	Remarque	Réponse de l'exploitant	Avis du tiers-expert
1	Etude géologique et hydrogéologique	L'exploitant veillera à prendre connaissance du rapport BRGM public publié en mars 2012 (BRGM/RP-60996-FR), après la rédaction du rapport de Burgeap, et complétera si nécessaire l'étude hydrogéologique (Partie A du Rapport BURGEAP 2012). En fonction de l'éventuelle actualisation de données d'entrée, l'exploitant veillera à compléter son approche sur les impacts thermique et d'injection de substances dangereuses dans l'aquifère du Dogger.	Ce rapport n'apporte pas d'éléments fondamentalement nouveaux remettant en cause les hypothèses considérées dans le dossier (voir précisions dans le document BURGEAP).	Pas de commentaire particulier.
2	Etude géologique et hydrogéologique	L'exploitant veillera à compléter l'étude de la piézométrie et du sens de l'écoulement de la nappe des Calcaires de Champigny sur la base d'une réflexion en basses et hautes eaux, sur une même année. Cette étude devrait se baser sur des données piézométriques les plus récentes possibles. Elle permettra de définir si le sens d'écoulement varie au cours d'une année. En effet, seule une piézométrie en basses eaux est présentée dans le rapport.	Burgeap prend en compte les données piézométriques de la nappe du calcaire de Champigny en hautes eaux (hautes eaux 2004) et met à jour le dossier (voir précisions dans le document BURGEAP).	Réponse acceptable.
3	Modélisation	L'exploitant veillera à réaliser une modélisation de type « transport-réactif » afin d'évaluer l'impact géochimique des effluents utilisés, selon des hypothèses pénalisantes, et en prenant en compte les effets de la température. Cette modélisation devra également être menée pour tenir compte des nouveaux équilibres chimiques liés aux caractéristiques du nouvel effluent. Les résultats des deux calculs pourront ainsi être comparés.	<p>Une analyse critique de la méthode et des résultats obtenus au regard des enjeux a été établie par le centre de Géosciences de l'Ecole des Mines de Paris (équipe hydrodynamique et réactions) (Lagneau, 2012).</p> <p>Il ressort de cette analyse critique que le mode de calcul employé (modélisation thermodynamique, robuste), aurait certes pu être affiné, dans l'absolu, par la prise en compte du transport et de la cinétique, mais que, dans le cadre du présent dossier, le gain de précision apporté représente</p>	La réponse apportée est recevable. Néanmoins, lors de la prochaine demande d'autorisation, il conviendra de réaliser une modélisation de type transport-réactif, plus représentative des meilleures techniques actuellement disponibles.

N°	Volet concerné	Remarque	Réponse de l'exploitant	Avis du tiers-expert
4	Modélisation	L'exploitant veillera à ce que les substances dangereuses inorganiques identifiées (cuivre, vanadium et fluorures) soient introduites dans des simulations de type « transport-réactif » et à ce que le méthanal soit considéré séparément en prenant en compte les caractéristiques physico-chimiques du fluide calculées à l'issue des modélisations précédentes.	<p>un intérêt limité (voir précision dans document de réponse BURGEAP).</p> <p>Ainsi, d'après le centre de Géosciences de l'Ecole des Mines ParisTech, la prise en compte des phénomènes de transport et de cinétique dans les modélisations géochimiques « n'apporterait pas d'éléments fondamentaux de nature à modifier les conclusions de l'étude ».</p> <p>Nous pouvons donc considérer que les résultats des simulations géochimiques effectuées dans le cadre du présent dossier et les conclusions associées sont tout à fait valides et pertinentes.</p>	
5	Modélisation	L'exploitant veillera à expliciter les calculs concernant les échanges thermiques avec l'aquifère.	BURGEAP présente, explicite et explique les calculs effectués (voir document de réponse BURGEAP). Une comparaison, justifiée, est faite avec les rayons d'impact thermique des puits injecteurs des doublets géothermiques au Dogger.	<p>Cette approche, associée à l'étude de sensibilité réalisée (cf remarque 9), est satisfaisante.</p> <p>Il est à noter que les calculs sont différents des calculs initiaux.</p>
6	Modélisation	L'exploitant veillera à réaliser une étude de l'impact thermique sur l'aquifère du Lusitanien.	Pour cet aquifère, on considèrera que l'impact thermique de l'injection au Dogger sur l'aquifère du Lusitanien est au maximum égal à l'impact thermique dans le Dogger lui-même ; le rayon d'influence thermique dans le Lusitanien est donc au maximum de l'ordre de 1000 m autour du puits d'injection au bout de 60 ans d'injection.	
7	Modélisation	L'exploitant veillera à évaluer l'impact sur l'Albien dans le cadre d'une fuite à travers la cimentation.	L'évaluation de l'impact sur l'Albien d'une fuite à travers la cimentation est évalué (voir document de réponse BURGEAP). Par ailleurs, pour les 3 aquifères (Champigny, Albien, Néocomien), nous avons évalué dans la version mise à jour du dossier d'incidence les facteurs de dilution.	Réponse satisfaisante, toutefois le calcul de dilution (avec prise en compte du coefficient de dispersion) aurait pu être explicité.
8	Modélisation	L'exploitant veillera à compléter l'évaluation	Voir réponses aux remarques 3 et 4.	La réponse apportée est satisfaisante.

N°	Volet concerné	Remarque	Réponse de l'exploitant	Avis du tiers-expert
		des impacts liés aux variations de la qualité des effluents liés à des incidents de production à l'aide de modélisations de type « transport-réactif ».		Néanmoins, lors de la prochaine demande d'autorisation, il conviendra de réaliser une modélisation de type transport-réactif, plus représentative des meilleures techniques actuellement disponibles.
9	Modélisation	<p>Afin de compléter les calculs, il conviendrait de réaliser une étude de sensibilité aux paramètres des modèles (notamment perméabilité, porosité, épaisseur des couches, pH alcalin) portant sur les aspects suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> - évaluation des transferts entre nappes hors injection ; - effets densitaires ; - évaluation des transferts entre nappes avec injection ; - dimensions de la bulle d'eau injectée ; - impacts d'une fuite à travers la cimentation ; - évaluation des impacts dans le cas d'une combinaison d'incidents. 	<p>Burgeap a rassemblé dans un nouveau chapitre du rapport toutes les études de sensibilité pour tous les calculs effectués et les paramètres étudiés.</p> <p>Les études de sensibilité ont été réalisées de manière semi-quantitative ou quantitative selon les formules de calcul utilisées.</p> <p>BURGEAP conclut que la sensibilité des résultats ne remet pas en cause les conclusions sur les impacts (voir précisions dans le document Burgeap).</p>	La réponse apportée est satisfaisante. Néanmoins certaines hypothèses restent discutables (variabilité spatiale des paramètres notamment).
10	Modélisation	<p>L'exploitant veillera à modifier l'évaluation des flux hors et avec injection issus du Dogger vers les aquifères sus-jacents en:</p> <ul style="list-style-type: none"> - évaluant les flux hydriques et massiques sur une surface plus adaptée que celle envisagée de 70 000 km²; - comparant ces flux avec les débits des aquifères dont la qualité doit être préservée; 	<p>BURGEAP a évalué le flux massique transitant depuis le Dogger vers le Néocomien en considérant les phénomènes convectifs et diffusifs, et ce avec et sans injection, ainsi qu'avant et après exploitation de l'Albien.</p> <p>Ces calculs ont été réalisés sur une surface correspondant à l'extension de la bulle d'injection dans le Dogger au bout de 60 ans d'injection.</p> <p>L'évaluation des flux a ensuite permis de calculer</p>	La réponse apportée est satisfaisante. Néanmoins certains calculs auraient pu être explicités (flux massiques et dilutions notamment).

N°	Volet concerné	Remarque	Réponse de l'exploitant	Avis du tiers-expert
		<ul style="list-style-type: none"> réalisant les calculs sur différentes verticales (au moins 2) plus au moins proches du puits. 	<p>les variations de salinité résultantes dans l'aquifère du Néocomien entre l'amont et l'aval de la surface considérée (voir précisions dans document de réponse Burgeap).</p>	
11	Suivi de la qualité des eaux	<p>L'exploitant s'engagera à réaliser une analyse technico économique des coûts et bénéfices associés à la mise en place d'un réseau de surveillance dans chacune des nappes étudiées, en prenant en compte leur vulnérabilité. Cette étude considèrera les 3 objectifs possibles de tels ouvrages :</p> <ul style="list-style-type: none"> Surveillance et vigilance/alerte en cas de fuites ; Calage des modélisations par un renforcement des connaissances hydrogéologiques ; Points d'accès aux nappes ou à la nappe susceptible d'être valorisés en pompage en cas d'impact jugés inacceptables. <p>Les résultats de cette étude combinés aux résultats de l'étude de sensibilités sur la gamme de valeurs utilisées dans les modèles de l'étude d'incidence, permettront de réévaluer plus pertinemment le besoin en réseaux de surveillance dans chacun des nappes.</p>	<p>Ces remarques ont été émises sans tenir compte de la mesure forte en termes d'efficacité qui est la surveillance de l'annulaire, celle-ci permet de couvrir la surveillance de toutes les nappes traversées. C'est une surveillance qui permet de détecter immédiatement la perte d'intégrité de l'une des barrières, bien avant la mise en évidence par un suivi piézométrique d'une modification de la qualité des nappes.</p> <p>L'estimation des délais d'impact met en évidence un délai suffisant pour réaliser un ou plusieurs puits de fixation (délai réévalué à 6 mois pour les nappes les plus profondes), y compris en tenant compte des résultats de l'étude de sensibilité sur les bulles d'eau envahissant les aquifères (réponse à la question 9). En conséquence, il n'apparaît pas nécessaire d'anticiper la création de ces ouvrages (voir précisions dans le document de réponse BURGEAP).</p> <p>Burgeap a réalisé une étude d'enjeux (bilan coût/avantage/risque) associée à la mise en place de réseau de surveillance dans les nappes profondes. Burgeap a complété son rapport en ce sens (voir bilan et conclusion dans le document Burgeap).</p>	<p>Réponse satisfaisante, toutefois les réserves suivantes peuvent être émises :</p> <ul style="list-style-type: none"> Les risques évoqués, induits par le forage de nouveaux ouvrages, sont contrôlables. Les techniques de forage permettent d'isoler des aquifères durant la foration et l'équipement d'un ouvrage ; Le suivi de la pression du fluide annulaire permet bien de détecter une fuite éventuelle, mais ne permet d'identifier l'aquifère concerné qu'après stabilisation des pressions.
12	Suivi de la qualité des eaux	<p>Bien qu'il n'y ait pas d'obligation réglementaire, compte tenu des activités de GPN, et des usages de la nappe des calcaires de Champigny, il semblerait nécessaire que</p>	<p>Effectivement, l'article 65 de l'arrêté du 2 février 1998 ne concerne que les installations soumises à autorisation visées par le tableau de l'article 65. Après vérification, aucune rubrique visée ne nous concerne. Nous ne sommes donc pas impactés</p>	<p>Réponse pertinente. Les ouvrages retenus devront être validés par un hydrogéologue agréé.</p>

N°	Volet concerné	Remarque	Réponse de l'exploitant	Avis du tiers-expert
		<p>l'exploitant complète le réseau de surveillance de cette nappe par au-moins deux ouvrages supplémentaires (au minimum un amont et un aval).</p> <p>Tous les ouvrages de surveillance devront être suivis pour les mêmes paramètres et ce sur le même pas de temps. Des ouvrages existants peuvent être éventuellement utilisés si leurs emplacements et constitutions sont adéquats pour les besoins du suivi.</p>	<p>par cet article.</p> <p>Par ailleurs, cet article indique aussi que "ces dispositions peuvent être rendues applicables à toute installation présentant un risque notable de pollution des eaux souterraines, de par ses activités actuelles ou passées, ou de par la sensibilité ou la vulnérabilité des eaux souterraines". Dans notre cas, nous n'avons pas connaissance d'une telle décision préfectorale.</p> <p>Toutefois, GPN envisage d'inclure dans le réseau de surveillance de la nappe des calcaires de Champigny (actuellement constitué du piézomètre Pz7) certains forages au Champigny présents sur site. Cette démarche, sortant du cadre strict de l'étude d'incidence de l'injection des effluents en puits profond, est en cours de réflexion (inventaire des ouvrages existant sur site, sélection des ouvrages pertinents).</p>	
13	Gestion d'un impact accidentel	<p>Sur les aquifères les plus vulnérables et après avoir dans un premier temps étayé les meilleurs choix en termes de mesures de surveillance, l'exploitant veillera dans un second temps à évaluer la possibilité de dimensionner des réseaux de surveillance des aquifères, dont les ouvrages puissent être utilisés le cas échéant en pompage pour soustraire aux milieux d'éventuels effluents fuyards. Cette stratégie couplant surveillance et mesures des risques potentiels présente un autre avantage, celui de répartir des débits de pompages, plus faibles qu'en un puits uniques, sur plusieurs ouvrages, ce qui permet de réguler les débits de proche en proche et</p>	<p>Comme indiqué dans la réponse à la remarque 11, la surveillance de l'annulaire reste le meilleur choix en terme de réactivité pour tous les aquifères traversés.</p> <p>La modélisation des impacts au sein de l'aquifère de l'Albien et du Néocomien, validé par le BRGM, met en évidence des vitesses de propagation faibles et compatibles avec la mise en place d'action, dont la plus lourde consisterait en la réalisation d'un ou plusieurs puits de fixation, dans un délai de 6 mois pour les nappes les plus profondes.</p> <p>L'aquifère le plus vulnérable du fait de la vitesse</p>	<p>Réponse satisfaisante. Les délais annoncés (6 mois) pour la réalisation des forages de fixation est plus réaliste. Néanmoins, les réserves formulées sur la réponse à la remarque n°11 sont également valables dans ce contexte. De plus, aucun élément n'est apporté concernant la gestion des eaux (stockage, traitement, évacuation). Il s'agit pourtant d'un point important de la stratégie de gestion d'un événement accidentel.</p>

N°	Volet concerné	Remarque	Réponse de l'exploitant	Avis du tiers-expert
		<p>de palier aux incertitudes liées à la répartition des polluants perdus dans le réservoir aquifère hétérogène impacté,</p> <p>Les modalités de traitement des eaux pompées (rendement épuratoires entrée / sortie, etc.), de stockage, et les exutoires des rejets post traitement doivent être intégrées au dimensionnement et être clairement explicitées.</p> <p>Un planning prévisionnel des interventions doit également être établi.</p>	<p>de propagation et de la proximité des cibles est la nappe de Champigny, ce qui justifie le suivi par un réseau de surveillance piézométrique.</p> <p>La rupture simultanée du tubing et du casing étant d'une probabilité extrêmement faible, ce scénario n'a pas été retenu dans notre étude de danger, contrairement à celui correspondant à la rupture de l'une ou l'autre des barrières. Un tel scénario nécessite alors une analyse de la situation réelle, permettant la mise en place d'actions adéquates et adaptées, puisque la seule perte envisageable dans l'aquifère serait celle de l'eau inhibée de l'annulaire (1 m3).</p> <p>Dans le cas de la situation fortement improbable d'une rupture simultanée des deux barrières, les premières mesures d'urgence consisteront à arrêter l'usine et l'injection en puits, pour ensuite faire appel à des spécialistes qui détermineront les actions à mener, sachant que les délais sont suffisamment long avant d'impacter le milieu.</p> <p>Dans le cas d'une pollution de la nappe de Champigny, tout le processus est décrit avec notamment l'identification de l'emplacement du puits de fixation et l'estimation du débit de pompage de 25 m3/h. Selon la situation du site et l'analyse de l'eau, sachant que le facteur de dilution dans la nappe est très important, à savoir 1200 (détaillé dans le chapitre B. 5.1.4 de l'étude d'incidence), l'eau pompée sera soit recyclée dans l'installation soit évacuée en concertation avec l'administration.</p>	
14	Suivi et renouvellement de l'équipement	L'exploitant apportera la justification technique que le traitement des effluents à l'acide chlorhydrique ne conduit pas à une	Le rapport réalisé par un expert en corrosion ("Vérification de l'aptitude au service en présence de solutions d'acide chlorhydrique des matériaux	La justification apportée est pertinente, ainsi que les recommandations formulées par Corr

N°	Volet concerné	Remarque	Réponse de l'exploitant	Avis du tiers-expert
	du puits	<p>augmentation du risque de corrosion. L'exploitant veillera à ce que cette étude soit réalisée sur les risques de corrosion-dépôts que pourrait engendrer la nature chimique des effluents injectés relativement aux tubages des puits en acier ordinaire exploitant le Dogger et à l'aquifère lui-même.</p>	<p>de l'installation de traitement des eaux usées de GPN Grandpuits") conclut que l'utilisation de l'acide chlorhydrique en remplacement de l'acide nitrique pour la neutralisation des eaux usées rejetées dans la nappe du Dogger n'entraînera pas d'augmentation de la vitesse de corrosion des installations en acier carbone du puits d'injection tant que le point de consigne du pH des eaux de rejet sera compris dans la fourchette 7.5 – 8.0 à 25°C (voir rapport Corr Consult joint). Les seuils d'alarme et de sécurité actuellement pratiqués sont validés par cet expert.</p> <p>L'impact de la modification de l'effluent sur le Dogger est traité dans le rapport Burgeap (§ B 4.5.5).</p>	Consult, qui devront être appliquées.



Centre scientifique et technique
Service Environnement et Procédés
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34