



Forages de reconnaissance et de réinjection de 1000-2000 m « Géothermie moyenne profondeur Neischmelz »

FONDS DU
LOGEMENT

Étude d'impact sur l'environnement (Rapport EIE)

- Conformément à la loi sur l'évaluation des incidences sur l'environnement du 15 mai 2018
- Et conformément à l'annexe I (n°11) des règlement grand-ducal du 15 mai 2018 établissant les listes de projets soumis à une évaluation des incidences sur l'environnement

Complément au rapport EIE



Client**FONDS DU LOGEMENT**

52, Boulevard Marcel Cahen
L-1311 LUXEMBOURG
Tél. : (+352) 26 26 44 1
Fax : (+352) 22 31 31

**Bureaux d'études****Luxplan S.A.**

4, rue Albert Simon
L-5315 Contern
Tél. : (+352) 26 390 1
Fax : (+352) 30 56 09

**Géoconseils SA**

4, rue Albert Simon
L-5315 Contern
Tél. : (+352) 30 57 99 1
Fax : (+352) 30 56 09



N° de référence	20200097-LP-ENV	
Suivi/Assurance qualité	Nom et qualité	Date
Rédigé par	Vincent Debbaut Tél. : 30 57 99 - 476	15/02/2023
Vérifié par	Dr. Markus Quack Tél. : 26 390 332	15/02/2023

Résumé et modifications

Indice	Description	Date

X:\Echange\VincentDebbaut\Compléments-Neischmelz\ 20200097_EIE_Forages_Neischmelz_compléments_v0.docx



Table des matières

1	Contexte de l'étude complémentaire	5
2	Complément au rapport Forage de reconnaissance et de réinjection de 1000-2000 m « Géothermie moyenne profondeur Neischmelz »	6
2.1	Etapes qui suivront la procédure d'évaluation	6
2.2	Précision sur les références légales.....	7
2.3	Thématique 1 – Délimitation et description de la zone d'étude, caractéristique du doublet de forages	8
2.3.1	Profondeur des forages.....	8
2.3.2	Aquifères susceptibles d'être traversés par les forages.....	8
2.3.3	Nature des sulfates présents dans le Keuper et le Muschelkalk.....	9
2.3.4	Données sur la piézométrie de l'aquifère du Trias inférieur.....	9
2.3.5	Plan d'implantation de l'appareil de forage.....	10
2.3.6	Plan d'implantation des installations de stockage des eaux thermales pompées lors des stimulations.....	10
2.3.7	Etat des sols au moment du démarrage du chantier	11
2.4	Thématique 2 – Organisation du chantier	12
2.5	Thématique 3 – Bien protégé « Population et santé humaine »	14
2.6	Thématique 4 – Bien protégé « Sol et sous-sol».....	14
2.7	Thématique 5 – Bien protégé « Eaux de surface et eaux souterraines ».....	15
2.7.1	Radioactivité des eaux profondes :	15
2.7.2	Demandes de compléments formulées par l'AGE, volet « eaux de surface »	17
2.7.3	Demandes de compléments formulées par l'AGE, volet « eaux souterraines ».....	22
3	Synthèse des mesures à mettre en œuvre	31
4	Bibliographie	32

Table des illustrations

Figure 1 : Succession des étapes dans la réalisation du forage de reconnaissance de géothermie moyenne profondeur à Neischmelz.....	6
Figure 2 : Données piézométriques relatives au Buntsandstein, isopièzes dans la partie française d’après l’Agence de l’eau Rhin-Meuse (données de 2010) [] et d’après Bjørnsen [] pour le Luxembourg. En pointillés rouges, courbes connectant les courbes de même cote des deux publications.....	9
Figure 3 : plan d’implantation du chantier (disponible en d’autres formats à l’annexe 2).....	10
Figure 4 : Fermeture de puits : principe de bouchage (source <i>Manuel de Fermeture de puits</i>).....	30

Tableaux

Tableau 1 : Synthèse des concentrations d’activité des sites de géothermie profonde en Allemagne (extrait du document [4])	16
Tableau 2 : Données de concentration de différents éléments en trace métalliques et ions dans des forages géothermiques en Allemagne (extrait de [4]).....	19

Annexes

Annexe 1	Courrier référencé n°96642 du 09.08.2022, avec les avis du MECDD et des autorités sollicitées sur le rapport d'évaluation.
Annexe 2	Plans du chantier au formats A4 et A1.
Annexe 3	Dossier d'APS établi par LUXPLAN pour les différentes options de bassins de stockage des eaux thermales.
Annexe 4	Document de ENECO relatif à la gestion des sols contaminés et des cuttings de forage.
Annexe 5	PROGRAMME BOUE GNSCH-1 Exploration établi par la société CVA Wells à la demande de GEOFLUID.
Annexe 6	Fiche de données sécurité de l'additif « Geotech »
Annexe 7	Article relatif à la détection de fuites par traçages dans les puits d'exploitation géothermique
Annexe 8	Fiches de données sécurité des produits candidats comme bactéricide (CVA Cide G) et inhibiteur de corrosion (CVA CorWells et/ou CVA CorQuat) à utiliser pour la réinfiltration des eaux thermales
Annexe 9	Tableau de synthèse des mesures d'évitement et de réduction des impacts

Abréviations

ACV	Analyse Cycle de Vie
AEV	Administration de l'Environnement
AGE	Administration de la Gestion de l'Eau
ANF	Administration de la Nature et des Forêts
BBB	Bodenkundliche Baubegleitung
CASIPO	Cadastre des Sites Potentiellement Pollués
CEF	Continuous Ecological Functionality Measures
CFL	Société Nationale des Chemins de Fer Luxembourgeois
CNRA	Centre National de la Recherche Archéologique
COP	Coefficient de performance thermique
EIE	Évaluation des Incidences sur l'Environnement / Etude d'Impact Environnemental
EPD	Environmental Product Declaration
FFH	Flora-Fauna-Habitat
GES	Gaz à effets de serres
GWP	Global Warming Potential
INPA	Institut national du patrimoine architectural
INRA	Institut national de recherches archéologiques
ITM	Inspection du Travail et des Mines
IVL	Integratives Verkehrs- und Landesentwicklungskonzept
MECDD	Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement Durable
MDDI	Ministère du Développement Durable et des Infrastructures
ML	Ministère du Logement
MoDu	Mobilité Durable
MoPAG	Modification ponctuelle du PAG
OBS	Occupation Biophysique du Sol
PAC	Pompe à chaleur
PAG	Plan d'Aménagement Général
PAP-NQ	Plan d'aménagement particulier « nouveau quartier »
P&Ch	Administration des Ponts et Chaussées
PDAT	Programme Directeur d'Aménagement du Territoire
PN	Protection de la Nature (loi PN)
PNDD	Plan National pour un Développement Durable
PSL	Plan Directeur Sectoriel – Logement
PST	Plan Directeur Sectoriel – Transport
RGD	Règlement Grand-Ducal
SCA	Sites Contaminés ou Assainis
SEDAL	Service de Déminage de l'Armée Luxembourgeoise
SPC	Sites Potentiellement Pollués
SSMN	Service des Sites et Monuments Nationaux
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
UVPG	Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz

1 Contexte de l'étude complémentaire

Le Fonds du Logement est chargé de développer le projet de réaffectation de la friche industrielle Neischmelz à Dudelange. Un des objectifs assignés au projet est de concevoir un quartier neutre en CO₂. La géothermie est une des sources d'énergie envisagée pour atteindre cet objectif. Des études récentes ont en effet identifié la zone de Dudelange comme un des sites offrant les meilleures potentialités pour de la géothermie moyenne profondeur [1] [2] [3]. En fonction des données disponibles actuellement, le sous-sol de Dudelange pourrait renfermer des ressources aquifères entre 1000 et 2000 m de profondeur, à des températures comprises entre 40 et 70 °C.

Un forage de reconnaissance est prévu pour vérifier les hypothèses relatives à la présence d'un gisement géothermique exploitable dans le sous-sol de Dudelange. Si le résultat est positif, l'ouvrage sera transformé en forage d'exploitation, et un second puits, destiné à la réinjection de l'eau après prélèvement des calories, sera foré pour constituer le doublet d'exploitation géothermique.

En vertu de la loi du 15 mai 2018 (ci-après dénommée la loi sur l'évaluation des incidences sur l'environnement, loi EIE), les projets qui répondent aux critères du règlement grand-ducal du 15 mai 2018 doivent être examinés sous l'angle de leurs incidences sur l'environnement.

Le projet désigné comme « Forage de reconnaissance et de réinjection de 1000-2000 m « Géothermie moyenne profondeur Neischmelz » » répond aux critères du RGD du 15 mai 2018 établissant les listes de projets soumis à une évaluation des incidences sur l'environnement, point 78 de l'annexe IV du règlement grand-ducal précité, (réalisation de forages géothermiques en profondeur, sur un site, d'une puissance d'absorption thermique supérieure à 30 kW).

En vertu de l'article 2 de la loi EIE, la réalisation d'une évaluation des incidences sur l'environnement (EIE) a été rendue obligatoire après examen d'une vérification préliminaire de l'impact du projet sur l'environnement et considération d'un impact significatif (EIE-Screening). LUXPLAN S.A. et Géoconseils S.A., au nom Fonds du Logement, ont soumis le rapport d'évaluation correspondant (conformément à l'article 6 de la loi sur les EIE) au ministère de l'Environnement (MECDD) en mai 2022.

Dans le courrier référencé n°96642 du 09.08.2022, le MECDD ainsi que les autorités sollicitées ont discuté les effets pertinents pour l'environnement sur les biens protégés développés et ont mentionné les manquements du rapport EIE et les points où des précisions sont souhaitées (cf. annexe 01).

Le présent rapport supplémentaire aborde donc les points mentionnés dans ce courrier. Pour une meilleure lisibilité, les points mentionnés dans les avis officiels ont été présentés par thématique. Ainsi, la thématique 2.1 traite des compléments relatifs à la description du projet, tandis que les domaines thématiques 2.2 à 2.7 traitent des aspects spécifiques aux biens protégés. Une synthèse de l'ensemble des mesures à mettre en œuvre est présentée au point 3.

2 Complément au rapport Forage de reconnaissance et de réinjection de 1000-2000 m « Géothermie moyenne profondeur Neischmelz »

Comme indiqué brièvement ci-dessus, la section suivante présente et développe par thématique les points mentionnés dans les avis des autorités compétentes, recueillis par le MECDD et émis le 09.08.2022.

2.1 Etapes qui suivront la procédure d'évaluation

Le schéma ci-dessous décrit les étapes de la mise en œuvre du projet de géothermie moyenne profondeur.

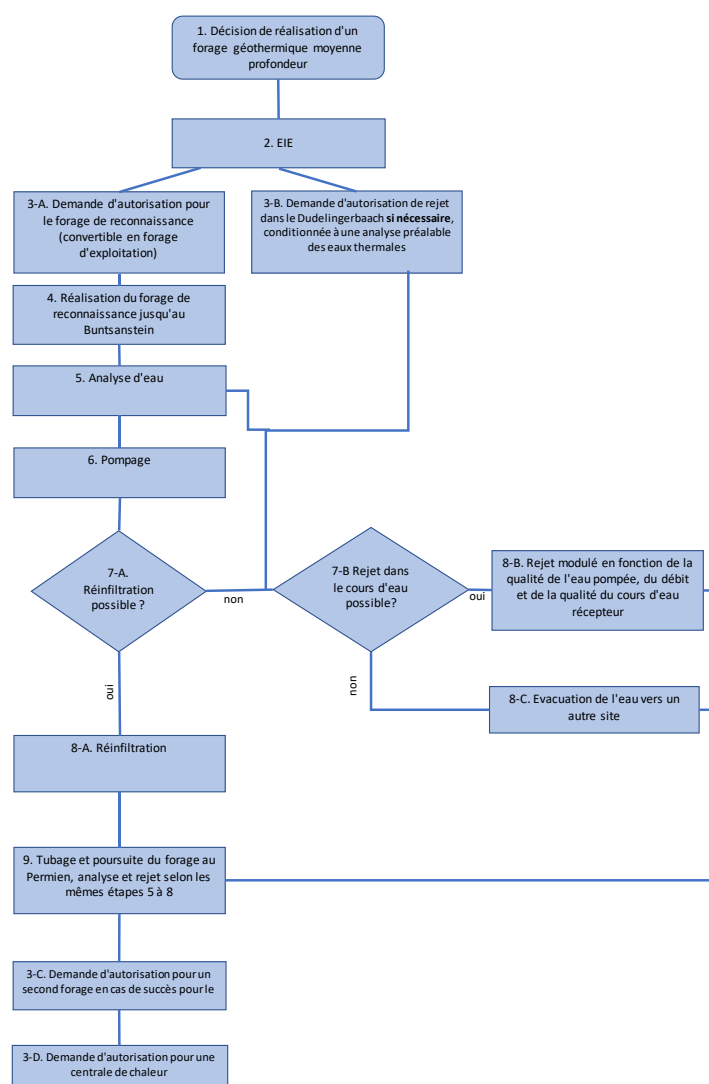


Figure 1 : Succession des étapes dans la réalisation du forage de reconnaissance de géothermie moyenne profondeur à Neischmelz

Les autorisations suivantes seront demandées suite à la procédure d'évaluation des incidences environnementales :

1. Une demande d'autorisation pour la réalisation du premier forage, forage de reconnaissance, d'emblée convertible en forage d'exploitation en cas de résultat positif (critère : possibilité d'extraire les quantités de chaleur nécessaires à la couverture des besoins du projet de reconversion du site Neischmelz).(3-A, sur la figure 1)
2. Une demande d'autorisation pour l'éventuel rejet maîtrisé des eaux thermales dans l'hypothèse où la réinfiltration n'est pas possible. La délivrance d'une telle autorisation sera conditionnée à la réalisation d'une analyse complète des eaux thermales à évacuer. .(3-B, sur la figure 1)
3. En cas de résultat positif sur le forage de reconnaissance, demande d'autorisation pour le second forage du doublet, dit forage de réinjection, dont la profondeur pourra être définie sur base des informations recueillies lors de la réalisation du premier forage. (3-C, sur la figure 1)
4. Demande d'autorisation pour l'exploitation de la centrale de chaleur).(3-D, sur la figure 1)

2.2 Précision sur les références légales

2.2.1 Référence erronée à l'article 16 de loi du 15 mai 2018 relative à l'évaluation des incidences sur l'environnement

Dans la partie introductive du point 10 de l'étude complète, il est fait référence par erreur à l'article 16 de la loi du 15 mai 2018 relative à l'évaluation des incidences sur l'environnement dans le 1^{er} paragraphe. Ce dernier est reformulé ainsi :

« Lors de la planification et de la mise en œuvre de projets soumis à une étude d'incidences environnementales, la question se pose si un impact significatif sur le plan environnemental - sur les biens protégés à considérer – peut être évité ou du moins être réduit par une planification adaptée. Si cela n'est pas possible, une compensation peut s'avérer nécessaire conformément à l'article 17 et/ou à l'article 21 de la loi du 18 juillet 2018 (loi PN). Cela signifie que d'un point de vue législatif, le présent rapport EIE doit décrire les mesures d'évitement, les mesures de réduction et, si nécessaire, les mesures de compensation. »

Et au 5^{ème} paragraphe. Ce dernier est reformulé ainsi :

*« Si, malgré l'utilisation de mesures d'atténuation appropriées, le projet entraîne des incidences sur la nature et le paysage qui ne peuvent être minimisées davantage et qui sont contraires aux réglementations, des **mesures compensatoires** peuvent être nécessaires. Il existe deux formes de mesures : »*

2.2.2 Références légale manquantes

Dans le chapitre 2.1 du rapport d'évaluation des incidences environnementales, les règlements grand-ducaux suivants, adoptés pour transposer la directive européenne du 27 juin 1985 relative à l'évaluation des incidences sur l'environnement, doivent être ajoutés :

- Règlement grand-ducal du 4 mars 1994 concernant l'évaluation des incidences de certains projets publics ou privés ; règlement abrogé par la loi du 10 juin 1999 relative aux établissements classés.
- Règlement grand-ducal du 7 mars 2003 concernant l'évaluation des incidences sur l'environnement de certains projets publics et privés sur l'environnement ; règlement abrogé par le règlement grand-ducal du 15 mai 2018 établissant les listes de projets soumis à une évaluation des incidences sur l'environnement.

2.3 Thématique 1 – Délimitation et description de la zone d'étude, caractéristique du doublet de forages

2.3.1 Profondeur des forages

L'avis du Service Géologique de l'Etat note que plusieurs profondeurs sont citées pour les forages faisant l'objet de l'évaluation des incidences environnementales, du fait des incertitudes sur la connaissance du sous-sol de la zone d'implantation, et demande qu'une profondeur maximale soit spécifiée.

Le complément de screening a défini l'objectif du premier forage, ayant une fonction de reconnaissance, en termes de cible géologique, à savoir qu'il est prévu que cet ouvrage pénètre dans le sommet du socle primaire (Dévonien). Les estimations sur base des connaissances actuelles données dans le rapport Géofluid n° DCE21109 (annexe 007A du rapport EIE), donnent le contact à une profondeur de l'ordre de 2350 m, sur base de quoi la profondeur maximale à prendre en compte dans l'évaluation est estimée 2400 m. Les résultats de la campagne sismique programmée en 2023 devraient permettre d'affiner cette estimation. La profondeur du second forage devra être déterminées sur base des caractéristiques de température et de productivité des niveaux aquifères recoupés par le premier forage.

2.3.2 Aquifères susceptibles d'être traversés par les forages

L'avis du Service Géologique de l'Etat signale que « le Grès à Roseaux (km²) est un aquifère souvent absent et de moindre importance et que le Dévonien est très probablement non aquifère ». Le bureau d'étude se rallie à cet avis, les couches en question n'ayant été mentionnées comme aquifère potentiels que par soucis de complétude.

2.3.3 Nature des sulfates présents dans le Keuper et le Muschelkalk

L'avis du Service Géologique de l'Etat signale que « Les sulfates mentionnés aux unités km et mm sont très probablement présents sous forme d'anhydrite et non pas de gypse ». Le bureau d'étude se rallie à cet avis.

2.3.4 Données sur la piézométrie de l'aquifère du Trias inférieur

L'avis du Service Géologique de l'Etat demande de préciser l'origine des données utilisées pour le dessin des isopièzes de la figure 70 du rapport d'évaluation des incidences, qui justifie le point de vue donné à la page 26 dudit rapport que « l'artésianisme n'est pas attendu à Neischmelz ». La légende de la figure 70 est erronée. La référence exacte est : « Grès du Trias inférieur (GTI), (code 210), Atlas hydrogéologique du bassin Rhin-Meuse, Agence de l'eau Rhin-Meuse, disponible sur : https://sigesrm.brgm.fr/IMG/pdf/26920_rm_210.pdf ».

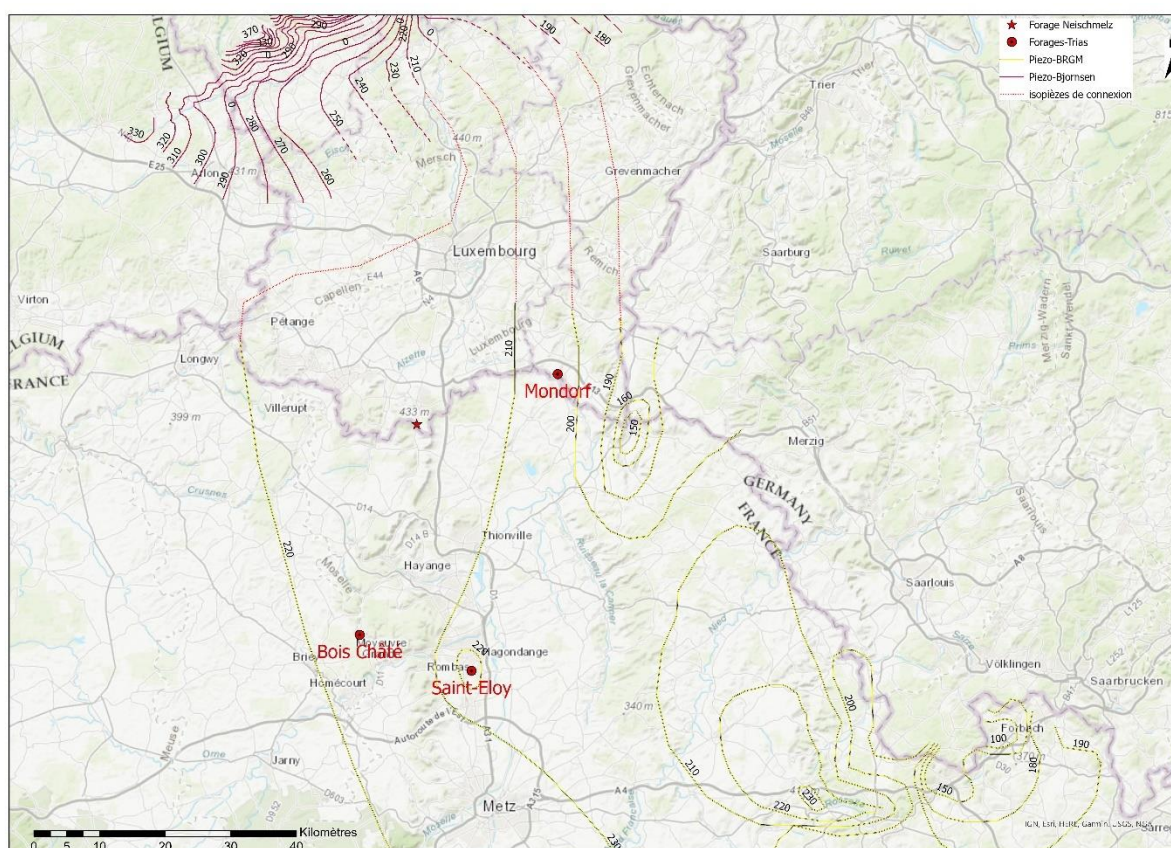


Figure 2 : Données piézométriques relatives au Buntsandstein, isopièzes dans la partie française d'après l'Agence de l'eau Rhin-Meuse (données de 2010) [4] et d'après Björnson [4] pour le Luxembourg. En pointillés rouges, courbes connectant les courbes de même cote des deux publications.

2.3.5 Plan d'implantation de l'appareil de forage

Les installations de stockage pour stocker les boues, les résidus de forage et l'eau pompée n'étaient pas clairement identifiées dans les figures du rapport d'incidence.

Le plan d'implantation du chantier, initialement représenté à la figure 24 du rapport d'incidences, a été retravaillé, sur base des documents établis par Géofluid.

Il est donné à l'annexe 2 aux formats A4 et A1, et repris à la . L'implantation des stocks de boues et de résidus de forage y est précisée.

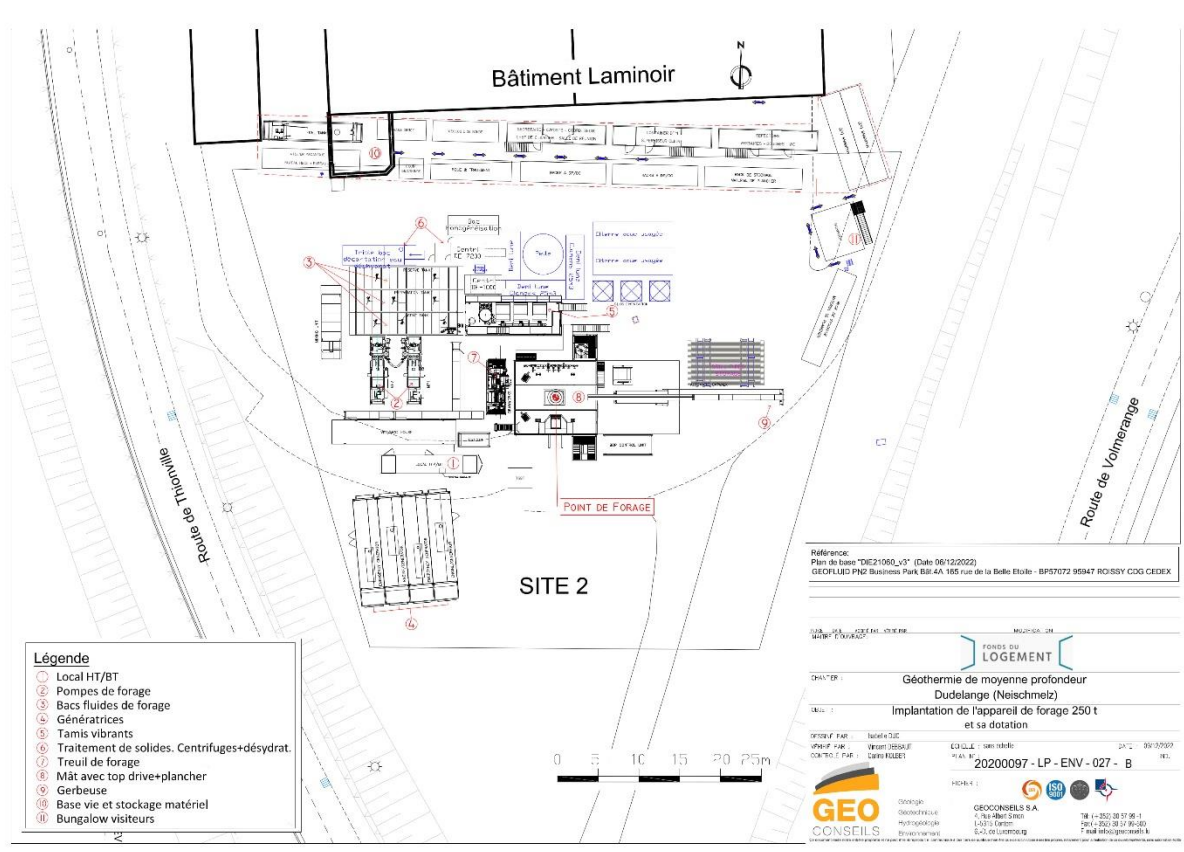


Figure 3 : plan d'implantation du chantier (disponible en d'autres formats à l'annexe 2)

Le point proposé pour le forage de reconnaissance a pour coordonnées LUREF 73640 E - 58640 N.

2.3.6 Plan d'implantation des installations de stockage des eaux thermales pompées lors des stimulations

Les installations nécessaires au stockage et à la gestion des eaux pompées lors des stimulations des niveaux aquifères visés pour la géothermie n'étaient pas décrits et localisés dans le rapport d'incidence.

Selon la concomitance des diverses natures de travaux opérés par le Fonds du Logement, sur la friche industrielle Neischmelz, le maître d'ouvrage doit pouvoir se donner diverses alternatives de nature et de localisation de mode de stockage.

Le bureau Luxplan a réalisé une analyse des divers modes de stockage alternatifs, qu'il sera possible de mettre en œuvre. Les plans relatifs aux différentes variantes envisagées sont donnés à l'annexe 3.

Les différentes possibilités étudiées pour le stockage des eaux thermales sont :

- Un bassin « extérieur » aménagé le long du laminoir sur une longueur maximale de 508 m (Plan 20222427_LP_HA001). Il serait réalisé par déblaiement jusqu'à une profondeur de 2 m et étanchéifié grâce à une géomembrane. Sa capacité pourrait atteindre les 11 000 m³ ;
- Un bassin « extérieur », projeté à l'Ouest de la route de Thionville, hors-sol. Ce bassin pourrait être réalisé suivant les besoins et la disponibilité du matériel grâce à des murs en L assemblés et étanchéifiés à l'aide d'une géomembrane ou des containers étanches (Plan 20222427_LP_HA003) ;
- Un bassin « intérieur » projeté dans l'ancien Laminoir. Il serait réalisé soit avec des murs en L étanchéifiés ou des bottes de foin assemblés et étanchéifiés.

Ces différents bassins seront réalisés suivant les quantités exactes d'eau thermales pompées avec un volume maximal de stockage de 11 000 m³.

Le choix de l'option à retenir sera fait au moment des demandes d'autorisations.

L'ensemble des phases de remplissage et de vidange seront réalisés soit par pompage soit gravitairement selon les cas de figure.

A ce stade, un des scénarii de stockage a été étudié jusqu'au niveau APS

2.3.7 Etat des sols au moment du démarrage du chantier

Sols pollués - Planning intervention

La note du bureau ENECO, annexe 4, précise le programme de traitement des sols potentiellement pollués, qui sera réalisé avant le début du chantier de forage géothermique.

Lors des opérations de dépollution, le sol sera excavé sur une profondeur de 2,2 m environ, et remplacé par une couche de remblais de 1,3 m d'épaisseur composée de matériaux du site recyclés adaptés à la sensibilité de l'usage (espace vert, <0SW), complétée ultérieurement (après le chantier de forage) par une couche de terre naturelle de 0,7 m.

Les aménagements du chantier de forage prendront en compte cette situation, et les aménagements nécessaires de la plateforme (merlon, rigoles, dispositifs de récolte des effluents de chantier,...) doivent contrôler le risque de submersion en cas de pluies intenses.

Risque de submersion

Le risque de submersion indiqué sur les cartes du Géoportail sont essentiellement liés à la nature imperméable des sols devant la façade sud du bâtiment laminoir (dalles bétonnées). Cette situation sera modifiée, et les aménagements liés à la dépollution du site et à l'installation du chantier de forage permettront l'infiltration des eaux propres et la maîtrise des eaux de ruissellement.

2.4 Thématique 2 – Organisation du chantier

Diverses remarques concernant l'organisation du chantier ont été formulées dans les avis des administrations.

Contrôle de la radioactivité

Le rapport Geofluid « DCE21299 », annexe 007 d) du rapport EIE complet indique que : « *Des mesures de radioactivité de niveau primaire seraient assurées par l'Unité Mud Logging de suivi géologique du forage, via des compteurs de type Geiger-Muller. Dans l'éventualité d'une radioactivité avérée détectée aux niveaux du fluide géothermique, des boues et des solides « mouillés » (par exemple les déblais/cuttings de forage et/ou dépôts sur garnitures de forage et équipements de surface) il sera fait appel à des opérateurs agréés par l'autorité de sécurité nucléaire pour les prélèvements d'échantillons et analyses subséquentes. Un protocole de mesures sur site par scintillomètres Gamma et mesures de fluorescence X (XRF) ad hoc édité par la société helvétique CSD est consigné à cet effet en Annexe » du rapport DCE21299.*

Ce protocole définit comme critère qui déclencherait l'appel à un opérateur spécialisé l'observation d'une valeur de rayonnement Gamme supérieure à 200 nSv/h sur les cuttings à la sortie des tamis ou à la surface des bennes de stockage des cuttings. Des mesures de concentration d'activité pourraient alors être faites et comparées aux valeurs X_L de la loi du 28 mai 2019 relative à la radioprotection.

Ces mesures de contrôle, et la mise en œuvre des actions nécessaires, sont à réaliser par l'entreprise de forage (en direct ou avec un sous-traitant), et être prévue dans le marché relatif au forage.

Contrôle de la sismicité

La valeur du bruit de fond sismique sera mesurée dans une phase préalable au chantier, durant laquelle les vibrations attribuables à des activités anthropiques de la région pourront être caractérisées. En cas de survenance d'événement anormaux durant le chantier, les opérations pourront être mises à l'arrêt, le temps de déterminer s'il y a un lien avec le forage géothermique, des opérations de production ou d'injection, et éventuellement modifier les caractéristiques de ces opérations en cours (débits, pressions d'injection, ...).

Alimentation en électricité du chantier

Le Fonds du Logement a l'accord de CREOS pour utiliser le réseau électrique pour le forage. Le réseau moyenne tension est disponible, jusqu'à une puissance de 3MW. Si besoin de plus, il faudra que CREOS étudie plus en détail la question. Le raccordement se fera sur le câble MT dans la rue, à charge du Fonds du Logement de fournir (ou de prévoir dans le cahier des charges du chantier de forage) un transformateur de chantier adapté (localisé sur les plans de l'annexe 2). La puissance exacte sera déterminée lorsque le forage sera précisément défini suite à la prospection sismique.

Une demande de raccordement provisoire devra être faite auprès de CREOS.

Consommation d'eau :

Au niveau de la consommation d'eau, il faut distinguer

- Le travail de foration en conditions habituelles, avec une consommation d'eau relativement faible qui s'infiltre au travers de la paroi du forage, processus limité par le dépôt d'un « cake » de boues qui imperméabilise la paroi, et par l'augmentation du volume du trou lié à l'avancement. La modification de la nature des roches traversées peut nécessiter le renouvellement de tout ou partie du stock de boues.
- La situation en cas de perte des fluides de circulation dans des terrains fortement fissurés, où un débit temporaire allant jusqu'à 80 m³/h peut être nécessaire temporairement.
- Les besoins en eau pour le forage du premier puits sont très variables, en fonction de la nécessité de renouveler les boues et d'éventuelles pertes dans les terrains traversés, mais on peut les estimer entre 7 000 et 9 000 m³, soit un total maximum de 18 000 m³ pour deux puits.

Monitoring des vibrations :

Un monitoring des vibrations doit être implémenté sur le chantier à la charge de l'entreprise prestataire du/des puits de forage, missionnée par le maître d'ouvrage. Des dispositions doivent être prises pour que ces mesures permettent d'apprécier correctement l'impact sur la ligne de chemin de fer. Le dispositif à mettre en œuvre devra faire l'objet d'une concertation avec les CFL et la communication des mesures sera faite aux CFL par l'entreprise prestataire du/des puits de forage.

Le rapport Géofluid DCE21299, en annexe 007E du rapport d'évaluation, précise que les vibrations « sont observées le plus souvent lors du forage de formations rocheuses dures (type Craie à silex dans le Bassin Parisien). Les vibrations sont généralement atténuées par l'incorporation à la garniture de forage d'un dispositif, shock absorber, amortisseur de vibrations. Dans la mesure où ces dispositions se révéleraient insuffisantes, il serait procédé à un avancement (ROP) contrôlé complété par un suivi acoustique arrêté au seuil de bruit de 50 dBA à 50 m ».

2.5 Thématique 3 – Bien protégé « Population et santé humaine »

Humidification des voies pour limiter l'impact de la mobilisation de poussières

Le cahier des charges du chantier devra prévoir l'aspersion des pistes en conditions sèches.

Bruit

Le rapport de Luxcontrol « Etude d'impact sonore dans le cadre d'une EIE – Travaux de forage géothermique – Neischmelz – Dudelange » a fait l'objet d'une version 2 révisée (Rapport N°23132725.2MOS), donnée à l'annexe 10. Ce document répond aux remarques de l'avis de l'Administration de l'Environnement qui concernent l'impact sonore.

Le planning de réaffectation du site Neischmelz prévoit que la démolition partielle du bâtiment laminoir se fera avant le début du chantier de forage. Les protections anti-bruit seront mises en place le cas échéant.

Emission d'hydrogène sulfuré

Les plans de l'annexe 2 précisent la localisation des différents équipements de chantier, dont les équipements de gestion des boues. Les plans de l'annexe 3 donnent les implantations possibles pour les bassins de stockage des eaux thermales.

Le monitoring H₂S sur la plateforme de forage et les écrans anti-bruit à placer entre le chantier et les bâtiments occupés les plus proches, qui vont limiter la dispersion dans cette direction, doivent permettre d'éviter des impacts sur les populations riveraines.

Un monitoring à l'immission, entre les endroits où des émissions sont susceptibles de se produire et les zones habitées ou occupées est recommandé, afin de pouvoir générer les mesures correctives en cas de dépassement des seuils de nuisance olfactive et de danger pour les populations riveraines. Ces mesures peuvent comprendre la modification ou l'arrêt des opérations en cours.

2.6 Thématique 4 – Bien protégé « Sol et sous-sol »

L'avis du MECDD demandait de cadrer les forages de reconnaissance par rapport aux mesures et au timing de l'assainissement du site.

L'avis du bureau ENECO, en annexe 4, répond à cette demande :

L'assainissement de la zone concernée sera terminé avant la réalisation des forages.

Le risque en cas de submersion du sol n'entraînera pas de dispersion de polluants.

Cet avis de ENECO traite aussi de l'intégration des cuttings de forage dans la filière de gestion des terres et remblais excavés sur le site. Le premier contrôle concernera la vérification du respect des

normes concernant l'activité radiologique de ces cuttings. Si ces normes sont respectées, un autre contrôle relatif à la présence éventuelle de sulfates (gypse et anhydrite) et de chlorures conduira à définir le mode de prise en charge de ces cuttings sous le contrôle de la maîtrise d'œuvre des assainissements missionnée par le maître de l'ouvrage.

2.7 Thématique 5 – Bien protégé « Eaux de surface et eaux souterraines »

2.7.1 Radioactivité des eaux profondes :

L'avis de la Division de la radioprotection du Ministère de la Santé signale le risque de voir les filtres utilisés dans les installations capter des radionucléides, les accumuler et au final dépasser les valeurs XL et XE de la loi du 28 mai 2019 relative à la radioprotection. Ce processus est surtout décrit dans la littérature pour les centrales thermiques en exploitation et pas pour les forages et pompages de test. De toute manière, les contrôles d'activité conduits sur les cuttings seront appliqués aussi aux matériaux retenus sur les filtres avant réinjection, matériaux qui seront gérés de la même manière que les cuttings.

En ce qui concerne l'exploitation de la centrale thermique, l'activité radiologique des matériaux retenus sur des filtres ou précipités dans des installations (tuyaux, échangeurs de chaleur) devra être testée afin de définir la filière d'évacuation adaptée.

L'avis de la Division de la radioprotection du Ministère de la Santé demande que des informations relatives aux concentrations d'activité par radionucléide dans les eaux thermales afin de pouvoir les comparer aux valeurs X_L de la loi du 28 mai 2019 relative à la radioprotection.

Pour les eaux éventuellement extraites du Permien, aucune donnée de concentration d'activité n'a pu être trouvée dans la littérature ou dans des documents techniques consultés pour des ouvrages proches du site de Neischmelz.

Pour le Buntsandstein à proximité de Dudelange, il existe peu de données quant aux concentrations d'activité liées à des radionucléides particuliers. Les paramètres ^{222}Rn et ^{226}Ra sont dosés dans les contrôles. Quelques concentrations en uranium sont disponibles, notamment pour les eaux du forage Lucius de Mondorf, où une mesure de $0,0043 \mu\text{gU/l}$ est rapportée (Donnée du Service Géologique du Luxembourg, Rapport AGE-18-30947 du 12/01/2018). En prenant en compte une activité moyenne de $25,4 \text{ Bq/mg}$ pour l'uranium, la concentration d'activité totale pour l'uranium dans cet échantillon est de $1,1 \cdot 10^{-4} \text{ Bq/g}$, ce qui est inférieur à toutes les valeurs X_L par isotope de l'uranium. Les données de concentration d'activité totales disponibles pour l'ensemble des émetteurs α et β sont systématiquement inférieures aux valeurs de X_L les plus basses par isotope de la loi du 28 mai 2019 relative à la radioprotection (voir tableau 3, au point 4.7.2 du rapport d'évaluation du 28/04/2022).

Une synthèse de données bibliographiques existe pour les bassins d'exploitation de la géothermie de moyenne et grande profondeur en Allemagne [4], qui concernent des contextes hydrogéologiques, des

profondeurs et des salinités des eaux thermales forts variés. Le Tableau 2 (données en Bq/kg, alors que la loi du 28 mai 2019 relative à la radioprotection qui donne des valeurs en Bq/g), extrait de cette publication, montre la grande variabilité des concentrations d'activité mesurées sur des eaux profondes. Ces mesures sont toutes inférieures aux valeurs X_E de concentration d'activité à des fins d'exemption de la loi du 28 mai 2019 relative à la radioprotection.

Tableau 1 : Synthèse des concentrations d'activité des sites de géothermie profonde en Allemagne (extrait du document [4])

		Norddeutsches Becken			Oberrheingraben			Mo- lasse- becken	WHO
		Hanno- ver	Horst- berg	Neu- stadt- Glewe	Soultz- sous- Forêts	Brühl	Bruchsal	Isma- ning	Richt- werte
		(Hess- haus et al., 2013)	(Hess- haus et al., 2013)	(Dege- ring und Köhler, 2011)	(Egge- ling et al., 2013)	(GeoEnergy GmbH, 2014.)	(Eggeling et al., 2013)	(LfU, 2014b)	
^{222}Rn	[Bq/kg]					$23,4 \pm 1,9$	$18 \pm 3 \dots$ $37,8 \pm 2,8$	$13,1 \pm$ $1,1$	
^{224}Ra	[Bq/kg]		$33,9 \pm$ 20	$8,1 \pm 0,6$	$19,9 \pm$ $1,1$	$7,53 \pm 0,9$	$9,3 \pm 1,6 \dots$ $10,3 \pm 1,4$		1^*
^{226}Ra	[Bq/kg]	$33,1 \pm$ $6,6$	$22,1 \pm$ $3,3$	$7,7 \pm 0,4$	$29,1 \pm$ $1,3$	$14,0 \pm 0,65$	$23,5 \pm 1,8$ $\dots 28,2 \pm$ $1,3$	$0,34 \pm$ $0,01$	1^*
^{228}Ra	[Bq/kg]	$31,2 \pm$ 10	$23,7$	$9,43 \pm$ $0,23$	$20,5 \pm$ $0,9$	$15,3 \pm 0,75$	$12,4 \pm 1,1$ $\dots 15,4 \pm$ $0,9$	$0,019 \pm$ $0,004$	$0,1^*$
^{210}Pb	[Bq/kg]	197 ± 18	$26,5 \pm$ $7,0$	$0,31 \pm$ $0,09$					$0,1^*$
^{228}Th	[Bq/kg]	$2,8 \pm$ 11	$0,8 \pm$ 10	$< 0,05$			$< 0,5$		1^*
^{232}Th	[Bq/kg]			$< 0,005$			$< 0,05$		1^*
^{235}U	[Bq/kg]			$< 0,0005$	$< 1,9$				1^*
^{238}U	[Bq/kg]			$< 0,01$	$< 5,3$		$< 1,5$		10^*
^{40}K	[Bq/kg]	$213,3$ ± 12	$112,7$ $\pm 6,6$	$24,4 \pm$ $0,9$	96 ± 6		$107,0 \pm$ $7,3$		

Werte sind in Bq/l angegeben

Le contrôle en continu lors des activités de forage et de stimulation des aquifères thermaux comprendra un suivi régulier, et le cas échéant des mesures de concentration d'activité afin de vérifier que la législation en vigueur est respectée.

2.7.2 Demandes de compléments formulées par l'AGE, volet « eaux de surface »

Thématique	Remarque AGE «EAUX DE SURFACE» 1
Rejet dans le cours d'eau	<p>Le cas échéant d'un rejet des eaux pompées vers le cours d'eau «Didelengerbach» une demande d'autorisation sera à déposer auprès de l'Administration de la gestion de l'eau.</p> <p>Il est à noter qu'une telle autorisation est conditionnée par une caractérisation précise des eaux rejetées. Dans le cadre du projet au vu du stockage préalable des eaux pompées, une analyse des eaux pompées « originelles » et des eaux pompées mélangées et stockées s'avèrera nécessaire, afin de s'assurer des concentrations présentes et de la dilution nécessaire rendant un rejet possible et autorisable.</p>

Le protocole de gestion des eaux pompées devra prévoir des analyses régulières des eaux pompées et du mélange dans le bassin de stockage temporaire. Si le paramètre conductivité électrique est à suivre régulièrement pour assurer un monitoring en continu, des analyses des ions chlorures (identifiés comme paramètre limitant), mais aussi des analyses plus détaillées avec des éléments en trace métalliques seront réalisées régulièrement, et dans les différentes configurations (bassins avec un mélange d'eaux de caractéristiques différentes).

Thématique	Remarque AGE «EAUX DE SURFACE» 2
Gestion des boues	Il est indiqué que la « phase solide » est évacuée vers une décharge, par contre pour la « phase liquide » si la qualité le permet une évacuation vers le réseau d'assainissement est envisagée.

Des analyses de la phase liquide seront prévues. Les paramètres suivants seront analysés pour valider la possibilité de rejet dans la canalisation : pH, Conductivité électrique, matières en suspension, formes de l'azote et du phosphore, demande chimique en oxygène, demande biochimique en oxygène, chlorures, sulfates, éléments en trace métalliques.

Thématique	Remarque AGE «EAUX DE SURFACE» 3
<p>Rapport-EIE (p. 138)</p> <p>Hiérarchie des solutions de gestion des eaux pompées</p>	« La solution 2 sera développée comme première alternative à la solution 1 de réinfiltration, en prenant en compte le débit du cours d'eau, le volume à rejeter, la température et la qualité de l'eau à rejeter. »

Plusieurs possibilités ont été envisagées dans le cadre de l'EIE pour le devenir de ces eaux extraites des réservoirs géothermiques profonds :

1. La réinjection dans le même aquifère, solution qui n'a **pas d'incidence pour les eaux de surface**, et qui est retenue si elle est possible. Elle implique des précautions pour ne pas risquer de corroder les tubages et pour ne pas altérer les propriétés hydrodynamiques des roches en contact avec la paroi du forage dans la partie aquifère : filtration des solides, adjonction de réactifs anti-corrosion et de bactéricides. Un faible risque existe cependant d'avoir une situation où les capacités d'infiltration de la couche aquifère est mauvaise, et que cette réinfiltration n'est pas possible, ou seulement partiellement possible.
2. Le rejet dans la canalisation. Cette solution n'a pas d'intérêt ; les substances dissoutes posant problème (chlorures) ne sont pas dégradées dans les stations d'épuration urbaines. L'apport des eaux thermales minéralisées risque en plus de perturber le fonctionnement de ces stations
3. Le traitement in-situ
4. Le rejet dans le cours d'eau, en modulant cette opération
5. L'évacuation vers un lieu pouvant accepter ces eaux, par camion ou train

C'est la solution **4** qui est retenue comme première alternative à la solution 1 de réinfiltration, en prenant en compte le débit du cours d'eau, le volume à rejeter, la température et la qualité de l'eau à rejeter (et pas la solution 2).

Thématique	Remarque AGE «EAUX DE SURFACE» 4
Tableau 19 « Norme RGD 15/1/2016 »	<p>Le rapport EIE (et son annexe 10) base leur analyse d'impact principalement sur trois facteurs : la concentration en sel, la température et le débit.</p> <p>Cependant, l'analyse des eaux pompées pourrait potentiellement montrer la nécessité de devoir surveiller d'autres paramètres, éventuellement une concentration en métaux. Par conséquent, la mise en place d'un échantillonnage actif, pas uniquement de sondes, sera probablement nécessaire afin de contrôler que tout se déroule bien et que la température et la concentration en sel restent les facteurs « limitant » à prendre en compte.</p> <p>Au cas où, une concentration en métaux dans les eaux pompées nécessitait une dilution plus importante que pour les trois facteurs précités, ce point ne pourra être établi qu'au moment des premières analyses des eaux pompées sur le terrain.</p> <p>Le moment venu, la liste des paramètres sera à réévaluer en concertation avec l'AGE.</p>

D'autres éléments ou composés peuvent effectivement nécessiter une vérification. A titre d'exemple, le Tableau 2 extrait d'une publication du Umwelt Bundesamt, relative à la Géothermie profonde en Allemagne, synthétise des données provenant de différents sites d'exploitation en profondeur [4].

Tableau 2 : Données de concentration de différents éléments en trace métalliques et ions dans des forages géothermiques en Allemagne (extrait de [4])

		Norddeutsches Becken			Oberrheingraben			Süddeutsches Molassebecken		Beurteilungswerte			
Standort		Hannover	Horst-berg	Groß Schö-nebeck	Landau	Soultz-sous-Forêts	Brühl	Unter-haching	Wald-krai-burg	TrinkwV	GFS	GrwV	OGewV
Neben- und Spurenelemente													
Al	mg/l	(0,2)			0,43	0,04	0,05	0,02	0,02	0,03	0,2		
As	µg/l	(6.046)		1.400	15.700	7.250	6.000	3.800	<0,37	<1,0	10	10	10
Ba	mg/l	127	54,8	(28,0)			10,0	27,6	0,18	0,17		0,34	
B	mg/l					19,9	35,0		1,5	0,70	1	0,74	
Br	mg/l	2.219	873	(306)	219	191	220	107	< 1	0,40			
Cd	µg/l	(24)		1.800		30,0	10,0	30,0			3	0,5	0,5 (0,25)
Co	µg/l	(7)					50,0	<3,0				8	
Cr	µg/l	(6)				<1,0	40,0	1,0	0,59		50		
Cu	µg/l	(684)		1.500		44,0	45,0	18,0	0,16		2.000	14	
F	mg/l				35,5		4,5	2,5		2,9	1,5	0,75	
Fe	mg/l	263	85,3	114	156	24	100	68,6	0,03	0,13	0,2		
Hg	µg/l					0,50		<0,2	0,00005		1	0,2	0,2 0,05
I	mg/l			(17)		<2,0		0,92	0,0003	0,21			
Li	mg/l	156	115	204	159		140	100	0,24	0,13			
Mn	mg/l	514	176	270		20,2	15,0	41,0	0,001	0,06	0,05		
Mo	µg/l	(40)										35	
NH ₄	mg/l	104		75,0		41,0	23,5	55,0	2,5		0,5		0,5
Ni	µg/l	(15)				57,0	100,0	7,0			20	14	20
Pb	mg/l	220	75,2	120		0,65	0,30	0,56	<0,0005		0,01	0,007	0,01 0,0072

La variabilité des teneurs observées ne permet pas de dégager des relations entre le type de gisement et les résultats. Le protocole de gestion des eaux pompées devra prévoir des analyses régulières des eaux pompées et du mélange dans le bassin de stockage temporaire. Ces analyses comprendront, en plus de l'analyse des éléments majeurs, des screening des éléments en trace métalliques, et s'il s'avérait qu'un de ces éléments impliquait une dilution plus forte que celle nécessitée par l'ion chlorure, le protocole de rejet serait adapté. Ces opérations seront faites en concertation avec l'AGE.

Thématique	Remarque AGE «EAUX DE SURFACE» 5
Rapport-EIE (P- 143), comme critère de « très bon Etat écologique » dans le RGD du 15.1.2016 »	Le rapport, p.143, est à corriger, il faut indiquer « bon état écologique ».

Le critère à retenir est celui de « bon état écologique » dans le RGD du 15.1.2016

Thématique	Remarque AGE «EAUX DE SURFACE» 6
Annexe 019 (p.13) « Enfin, compte tenu des Etudes citées et des recommandations figurant dans le Plan de Gestion de mise en œuvre de la DCE de décembre 2009 (tableau 4), indiquant la sensibilité des éléments biologiques par rapport aux impacts attendus, le suivi de l'indicateur diatomée et donc l'indice IPS selon la norme AFNOR T90-354 semble le plus approprié. »	Dans 1*Annexe 019, p.13, un lien serait plutôt à faire avec l'avant-projet du 3ème plan de gestion qui est finalisé (https://eau.gouvernement.lu/fr/administration/directives/Directive-cadre-sur-leau/3e-cycle-(2021-2027).html) qui entrera en vigueur cette année

La référence au troisième plan de gestion est retenue dans l'annexe 19 du rapport complet. Plan de gestion pour les parties des districts hydrographiques internationaux du Rhin et de la Meuse situées sur le territoire luxembourgeois pour le troisième cycle de gestion (2021-2027) dans le cadre de la mise en œuvre de la directive-cadre sur l'eau.

Thématique	Remarque AGE «EAUX DE SURFACE» 7
Annexe 019 (p.17) « le contrôle du débit rejeté et donc l'effet de dilution doit permettre de satisfaire au seuil maximal de concentration finale fixé à 200 mg/L (seuil de bon Etat). »	Dans notre « avis scoping » nous avons demandé une évaluation des effets du rejet sur le cours d'eau se basant aussi sur la Situation actuelle du « Didelengerbaach ». L'annexe 19 est à compléter par une évaluation de l'impact sur tous les paramètres de qualité biologique si la concentration en chlorure varie fortement d'un coup, par exemple de 10mg/L ("concentration ruisseau") à 200mg/L (concentration rejet"). D'éventuelles mesures (aménagement ou régulation spécifique) sont également à présenter.

D'après l'étude bibliographique qui a été conduite pour la rédaction de l'annexe 19 au rapport EIE complet, une augmentation brusque de teneur en chlorure peut éventuellement avoir un impact sur une ou l'autre espèce, mais pas sur la valeur de l'indicateur global. Ainsi, que ce soit pour les macro-invertébrés benthiques, les vertébrés (poissons) ou la flore aquatique (macrophytes), l'étude bibliographique ne montre pas d'altération significative pour un passage de 10 à 200 mg/l. Cet impact ponctuel sera d'autant plus limité que le milieu actuel est globalement altéré d'un point de vue qualitatif. Les espèces présentes sont peu abondantes et peu diversifiées et relativement peu sensibles à une variation ponctuelle et contrôlée de la qualité des eaux.

Thématique	Remarque AGE «EAUX DE SURFACE» 8
Annexe 019 (P-17) « le suivi biologique à l'aide des algues diatomées est donc préconisé »	Nous nous rallions au fait que « le suivi biologique à l'aide des algues diatomées est donc préconisé ». Effectivement, les diatomées sont le paramètre le plus sensible, donc le cas échéant le plus impacté par la concentration en sel. La mise en place d'un monitoring est primordiale.

Un protocole de monitoring basé sur le bioindicateur diatomées, sera proposé à l'AGE.

Thématique	Remarque AGE «EAUX DE SURFACE» 9
Avis de l'AGE pour l'étape «scoping» « Il est également important que le rapport présente des Solutions pour le stockage et potentiellement le traitement (volume attendu, traitement projeté, moyens techniques, etc.), vu qu'un rejet direct sans stockage intermédiaire semble peu réaliste. »	

Une étude des bassins a été réalisée par LUXPLAN (voir 2.3.6 et annexe 3).

2.7.3 Demandes de compléments formulées par l'AGE, volet « eaux souterraines »

Thématique	Remarque AGE «EAUX SOUTERRAINES» 1
Réalisation des forages <i>Des additifs vont être injectés dans les boues lors de la foration</i>	Le rapport de l'EIE est à compléter par des précisions sur les additifs prévus pour les boues (pour le contrôle de la densité par exemple). Des fiches de sécurité sont disponibles à la fin d'un des documents, mais il est difficile de faire le lien et d'identifier clairement quelles substances sont utilisées à quel moment et dans quelle quantité, et donc l'impact potentiel sur les ressources (notamment le PAC HV et le PAC18).

Le programme prévisionnel de fluides de forages établi à la demande de Géofluid est joint à l'annexe 5. (Programme Boue Geofluid Luxembourg GNSCH-1 i3pdf)

Important à savoir – Généralités :

La boue de forage de base qui sera utilisée est composée **d'eau propre** (ex. de ville, à chimie constante) et de bentonite (argile gonflante aux propriétés thixotropiques);

Le technicien en charge des boues de forage doit veiller en permanence à **maintenir les plus constants possible les paramètres des boues de forages** ;

Par interaction avec les formations forées ou les aquifères traversés, les paramètres des boues de forage peuvent varier ; les additifs vont permettre de retrouver les paramètres physiques nécessaires à la poursuite du forage dans de bonnes conditions (densité, viscosité, ...) et assurer correctement le rôle des boues de forage, principalement: refroidissement de l'outil de forage, remontée des cuttings, soutènement des parois nues du forage (boues en légère surpression), dépôt d'un film d'argile imperméable (bentonite) au droit des formations aquifères pour empêcher les pertes de boues de forage ;

Les additifs des boues de forage sont ajoutés, si nécessaire, en cours de forage, pour corriger tel ou tel paramètre ;

Tous les additifs utilisés en géothermie (= forage d'eau) **sont biodégradables** ;

La pénétration des boues de forage dans les formations est nulle au droit des formations imperméables, faible au droit des formations perméables (inférieure à 1 m autour du forage en milieu poreux), puisque la boue de forage (par pression différentielle, forme un film de bentonite (appelé "cake" de 2 à 10 mm d'épaisseur) qui va rapidement imperméabiliser la paroi du forage en milieu poreux (type grès) ou remplir les fractures en milieu rocheux fracturé. En milieu karstique (roches carbonatées de type calcaires, dolomies), ce qui n'est pas le cas des aquifères géothermiques ciblés à Dudelange, des "pertes partielles ou totales" des boues de forage peuvent être observées. Dans ce cas extrême, le forage se poursuit à l'eau claire jusqu'à la sortie de la formation aquifère et la mise en place d'un tubage (s'il ne s'agit pas encore de l'aquifère géothermique ciblé).

Au droit de l'aquifère géothermique ciblé, les boues de forage vont être totalement extraites du forage au cours des travaux préliminaires aux tests de production (développement du puits, avec élimination totale des boues de forage, puis stimulation du forage par acidification - voir ci-dessous).

Thématique	Remarque AGE «EAUX SOUTERRAINES» 2
Test de Stimulation <i>Acidification</i>	Peu d'informations ont été transmises sur les produits et leur impact sur les eaux souterraines et les formations géologiques dans lesquelles les acides vont être injectés. Il faudra étudier ces impacts plus précisément et tenir compte des caractéristiques des formations géologiques dans lesquelles ces produits seront injectés.

Le but de la stimulation par acidification est de créer à proximité immédiate de forage (dans un rayon de 0.5m-1m) une zone de plus grande perméabilité afin de limiter les pertes de charge qui affectent l'eau géothermale à son entrée dans le forage. Le programme d'acidification prévoit un préflush (une première injection de 5 m³ HCl 15%), puis une acidification avec un acide organique. La stimulation de la production par acidification à l'acide n'est intéressante que dans les roches présentant une fraction carbonatée (ex. ciment naturel des grès du Buntsandstein, fractures ou fissures minéralisées) qui peut être dissoute à l'acide. Une étude en laboratoire sera réalisée sur les cuttings afin de déterminer la formulation optimale.

L'acidification aura comme cible le réservoir Buntsandstein (ou le Permien). S'il est correctement formulé, l'acide injecté va plus ou moins rapidement se neutraliser (par réaction chimique avec la calcite ou la dolomie). Après un temps de pause suffisant (quelques heures), le puits sera remis en production, afin d'éliminer le volume d'acide injecté et produire l'eau géothermale (suivi en surface du pH, T°, conductivité, débit, ... et prélèvement d'échantillons d'eau géothermale).

Il n'y a aucun impact sur les autres aquifères car ils seront isolés par les tubages sus-jacents.

Thématique	Remarque AGE «EAUX SOUTERRAINES» 3
Traitement anti-corrosion <i>La mise en place d'un traitement inhibiteur en fond de puits producteur</i>	De même que précédemment, veuillez indiquer plus clairement quelles substances seront utilisées, dans quelle quantité et donner plus d'informations sur leurs impacts sur les ressources.

La nécessité du traitement avec un inhibiteur sera décidée suite aux analyses chimiques de l'eau géothermale. L'inhibiteur candidat sera un inhibiteur « vert » (de type Geotech, Fiche de Données Sécurité jointe à l'annexe 6).

En ce qui concerne l'Impact sur ressources, l'additif est noté comme biodégradable dans FDS en anglais. Il doit en conséquence être dégradé progressivement.

Thématique	Remarque AGE «EAUX SOUTERRAINES» 4
Travaux d'entretien des puits (workover) <i>Les travaux lourds de nettoyage des puits sont réalisés tous les 10 ans en moyenne</i>	Pouvez-vous donner plus de détails sur ces travaux ? Quel retour d'expérience avez-vous sur la fréquence et l'ampleur de ces travaux ainsi que les conséquences potentielles sur les eaux souterraines.

Les travaux de nettoyage consistent essentiellement en curage des tubages du puits avec des outils de "jetting" (jets d'eau à haute pression). L'intégrité du puits sera contrôlée par des essais en pression en isolant le réservoir avec un packer (obturateur gonflable).

La fréquence de 1 fois tous les dix ans généralement préconisée est basée sur le suivi des doublets géothermiques en région parisienne, où elle s'avère satisfaisante.

Aucun impact sur les autres aquifères car ils seront isolés par les tubages sus-jacents.

Thématique	Remarque AGE «EAUX SOUTERRAINES» 5
Fuite dans le puits <i>Le risque maximal consiste en une Perforation du tubage au niveau d'un aquifère capable d'absorber le débit artésien du puits.</i>	Pouvez-vous apporter des détails sur le traçage chimique potentiellement utilisé ?

Un article qui décrit des exemples traçages de fuites est repris à l'annexe 7 (Leak identification in geothermal production well – discussion of techniques used in the Paris Basin " by Anne-Véronique VENTRE and Pierre UNGEMACH Geoproduction Consultants (GPC)).

Thématique	Remarque AGE «EAUX SOUTERRAINES» 6 et 10
<p>N° 6 : Evacuation des eaux souterraines</p> <p><i>Plusieurs options ont été identifiées pour Evacuer les eaux souterraines fortement minéralisées</i></p>	<p>Une brève description supplémentaire de l'Etape de réinjection (pour évacuation des eaux de pompage) est à ajouter dans le rapport.</p> <p>En cas de réinjection dans le même aquifère, quels inhibiteurs de corrosion et bactéricides sont prévus ? Et quels sont leurs potentiels impacts sur les eaux souterraines et les formations géologiques dans lesquelles ils seront injectés ?</p>
<p>N°10 : Injection de substances dans les eaux souterraines</p> <p><i>Le rapport mentionne que des inhibiteurs de corrosion et de bactéricides sont ajoutés dans les eaux pour protéger les tubages avant qu'elles soient réinjectées dans l'aquifère.</i></p>	<p>Il sera nécessaire de détailler plus précisément :</p> <p>1) comment ces substances vont être injectées ?</p> <p>2) quelle quantité de ces substances est envisagée en quelle concentration elles vont se retrouver dans la Formation géologique choisie ?</p> <p>3) quel pourrait être l'impact de ces acides et autres produits sur l'aquifère du Buntsandstein ? la Formation du Permien ?</p> <p>Il est important que le rapport présente des Solutions de stockage temporaires des eaux pompées lors des tests de Stimulation. Comme des volumes importants (10800m³ par essai), sont prévus d'être pompés, des solutions de stockage et des mesures adéquates sont nécessaires pour éviter toute éventuelle fuite</p>

En fin de stimulation, l'eau qui aura été pompée et stockée temporairement sera repompée, via une installation de filtration (installation existante du chantier de forage), avec ajout d'un anti-bactérien et d'un anti-corrosif.

Les concentrations estimées de produits de traitement pour conditionner l'eau résultant des essais sont :

- 1- Bactéricide : 2 ppm (22 kg pour 11 000 m³)
- 2- Antioxygène : 7 ppm (77 kg pour 11 000 m³)

Ces deux additifs, en combinaison avec une filtration de 10 microns protégeront le réservoir contre la prolifération des bactéries et colmatages de l'espace de pores. Ils seront injectés à l'aide de pompes doseuses asservies au débit. La concentration autour du puits sera celle du liquide réinjecté, et elle diminuera progressivement par dilution et dégradation des substances.

Le produit anticorrosion sera ajouté à la saumure NaCl, densité : 1.2 sg en concentration de 2ppm. Elle protégera le tubage. L'injection se fait via une pompe doseuse asservie au débit d'injection.

Les fiches de données sécurité de produits candidats (choix définitif à faire selon la chimie des eaux thermales) sont données à l'annexe 8. Il s'agit :

- Biocide : CVA Cide G

- Inhibiteur de corrosion : CVA CorWells et/ou CVA CorQuat selon les chimies acceptables ou pas

Impact sur ressources :

Les données relatives à la toxicité et à la dégradabilité de ces substances sont reprises dans les fiches de données sécurité en annexe 8 :

- CVA Cide G est considéré comme facilement biodégradable (FDS)
- CVA CorWells composé de ethanol, 2,2'-oxybis, difficilement biodégradable et d'acide acétique facilement biodégradable
- CVA CorQuat : composé de ethanol, 2,2'-oxybis, difficilement biodégradable et de sulfite acide d'ammonium

L'essentiel des composés doit être fortement dilué et dégradé sur le long terme dans le réservoir aquifère.

La solution de stockage temporaire des eaux thermales pompées est décrite dans le rapport LUXPLAN à l'annexe 3.

Thématique	Remarque AGE «EAUX SOUTERRAINES» 7
Intervention anti-éruption <i>Les puits sont neutralisés par injection de saumure et la fuite contrôlée par injection d'agents colmatants.</i>	Veuillez indiquer la nature des substances et matériaux utilisés.

En phase de forage le sujet éruption est maîtrisé par la présence de matériel adéquat (Dispositif d'obturation automatique appelé « BOP », voir annexe007 B du rapport EIE) et par la formulation/densité des fluides de forage

Situation du Puits en exploitation :

Saumure NaCl d=1.20 sg

Matériel de colmatage : morceaux de caoutchouc en petite quantité (moins de 500 g), ayant pour vocation de boucher les fuites qui surviendraient dans les équipements de surface.

Thématique	Remarque AGE «EAUX SOUTERRAINES» 8
Une ressource épuisable (annexe 007C du rapport d'évaluation des incidences, rapport Géofluid DCE21146)	Qu'entend le bureau d'Etudes lorsqu'il mentionne « un mode d'exploitation durable » ? Quels sont donc les risques d'altération des conditions physiques, chimiques ou biologiques que représente l'exploitation des forages sur les eaux souterraines ? Nous rappelons que conformément à l'article 22, de la loi modifiée du 19 décembre 2008 relative à l'eau, il est

La géothermie est une ressource épuisable à l'échelle « humaine ». Une surexploitation anarchique conduit à un épuisement prématuré de la ressource. Un mode d'exploitation durable constitue donc un compromis raisonnable et réaliste, en sécurisant une durée de vie de minimum 30 ans.	interdit d'altérer les conditions physiques, chimiques ou biologiques des eaux de surface et des eaux souterraines.
--	---

« La chaleur de la Terre est inépuisable ». « A l'échelle de la durée de vie d'une installation (estimée à 30 ans), le cadre réglementaire garantit un équilibre entre le prélèvement d'énergie pour l'exploitation et la durabilité de la ressource ». (Site www.Géothermie.fr).

Les installations doivent être conçues et dimensionnées pour permettre la régénération du gisement sans prélèvement excessif d'énergie. Dans le cas de plusieurs doublets exploitant la même ressource géothermale dans la même région, une modélisation mathématique du réservoir permet de vérifier le caractère durable de l'exploitation et l'absence d'influence réciproque d'une installation sur l'autre. Dans le cas du projet Neischmelz, aucun autre doublet n'est exploité à proximité dans le même réservoir. De plus, les incertitudes actuelles sur la configuration du sous-sol limitent pour le moment l'intérêt d'une démarche de modélisation.

Thématique	Remarque AGE «EAUX SOUTERRAINES» 9
Impact du système de pompage/injection sur les eaux souterraines. <i>Le rapport mentionne que les différentes phases (installation du chantier, réalisation du forage, test de pompage, réinjection de l'eau) peuvent générer de la sismicité induite et qu'un réseau de monitoring sismique sera installé pour assurer un suivi.</i>	Le monitoring prévu est détaillé mais il est également nécessaire de préciser quelles mesures seront prises en cas d'observation sismique pendant les différentes phases. Dans le cas où la perméabilité de la formation visée (Buntsandstein ou Permien) ne présente pas une perméabilité suffisante pour permettre une réinjection convenable des eaux souterraines, qu'est-il prévu ? Quels sont les risques en cas de difficulté de réinjection et de pression trop importante ? Qu'est-il prévu pour prévenir la création de séismes en raison d'une pression trop importante possible ?

Si l'injectivité de la formation est trop faible, le débit d'exploitation devra être réduit, et la viabilité de l'exploitation du doublet devra être réévaluée.

En cas d'activité sismique anormale, les opérations en cours doivent être adaptées (réduction des débits de pompage ou d'injection, arrêt des injections d'acides, ...) ou arrêtées.

Les actions qui découlent du suivi de l'activité sismique doivent être prises en concertation avec autorités, pour l'évaluation de la situation, décision sur la suite,

Thématique	Remarque AGE «EAUX SOUTERRAINES» 11
Fin de vie des forages <i>Plusieurs informations différentes sont indiquées dans le rapport et ne sont pas très claires</i>	Des solutions alternatives, comme le choix de l'argile à la place du béton ou encore la réinjection des boues de forage, ont été évoquées. Il serait important d'avoir une décision et une proposition plus claire et concrète sur la fin de vie du Forage et avoir des détails (matériaux utilisés, durabilité, colmatage complet et homogène, etc.) pour s'assurer que la mise en contact entre les différents aquifères ne sera jamais permise après la fin de leur exploitation.

Ces opérations doivent être réalisées selon les bonnes pratiques, les législations et normes en vigueur au moment de l'intervention.

Dans l'état actuel, il est prévu pour la réalisation du forage de reconnaissance que, A la fin de la phase de forage - Les cuttings seront traités sur place par le système qui sera mis en place pour la construction par le FdL.

Les fluides de forage (boues) seront citernés (ou reconditionnés entre les phases) vers les centres de traitement.

Pour les travaux d'abandon du forage en fin de vie, les instructions et la réglementation en vigueur, bien connues dans l'industrie pétrolière et géothermale pour ce type d'opérations, seront appliquées. Actuellement, les référentiels suivants peuvent être appliqués :

Allemagne : Oberbergamt Clausthal-Tellerfeld 1987, BVOT 2006 et WEG 2014 ;

France : l'Article 6 du Décret n°2006-649 du 2 juin 2006 relatif aux travaux miniers, aux travaux de stockage souterrain et à la police des mines et des stockages souterrains complétant le Titre VI du décret n°2016-1303 du 4 octobre 2016 : « dispositions spécifiques aux travaux de fermeture » et l'article 37 de ce même décret ;

Nouvelle Zélande: NZS 2043:2015 Code of practice for deep geothermal wells.

Ces documents donnent des instructions claires concernant les longueurs des bouchons de ciment, les types de ciments, etc. pour assurer la meilleure qualité selon les standards ("best practice"). Dans tous les cas, des travaux de ce type nécessiteront l'accord des autorités (par exemple règlement 1991 sur la loi des hydrocarbures, Suisse, canton de Vaud).

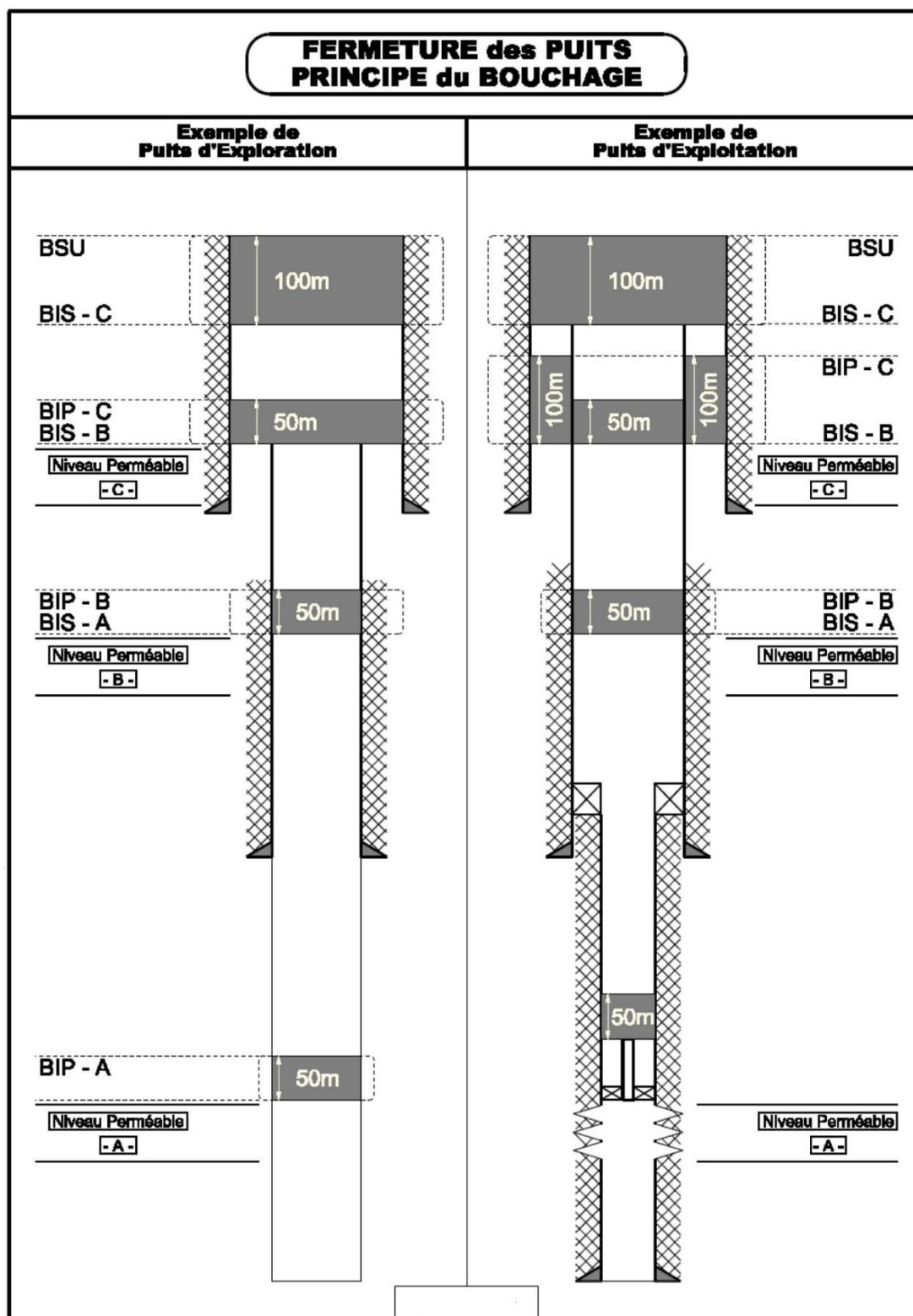
Thématique	Remarque AGE «EAUX SOUTERRAINES» 12
Réversibilité <i>Le retour à l'état initial est possible après le premier forage ou encore après le doublet complet avec la mise en place de bouchons, etc.</i>	Un Schéma explicatif et plus de détails sont nécessaires

Pour les travaux d'abandon du forage en fin de vie , les instructions et la réglementation en vigueur, bien connues dans l'industrie pétrolière et géothermale pour ce type d'opérations seront appliquées.

Le schéma de la

BIP : Barrière d'isolation primaire	BS : Barrières solides
BIS : Barrière d'isolation secondaire	BT : Barrière en tête
BSU : Barrière de surface	BSC : Barrière Solide Consolidée
BL : Barrière liquide	BSM : Barrière Solide Mécanique

Figure 4, extrait de (« Fermeture des puits d'hydrocarbures – Recommandations », 2007, Chambre syndicale de l'exploitation-production d'hydrocarbures et Ministère de l'écologie, du développement durable et l'aménagement durables, consulté sur https://www.nouvelle-aquitaine.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/guide_fermeture_definitive_des_puits_d_hydrocarbures_-_dec_2007_cle097e6c.pdf en décembre 2022) donne un exemple de conception d'un colmatage, adapté pour assurer l'isolation des différents niveaux aquifères recoupés par le forage.



BIP : Barrière d'isolation primaire
 BIS : Barrière d'isolation secondaire
 BSU : Barrière de surface
 BL : Barrière liquide

BS : Barrières solides
 BT : Barrière en tête
 BSC : Barrière Solide Consolidée
 BSM : Barrière Solide Mécanique

Figure 4 : Fermeture de puits : principe de bouchage (source *Manuel de Fermeture de puits*)

Thématique	Remarque AGE «EAUX SOUTERRAINES» 13
Présence de sites pollués	La pollution du sol est à vérifier plus précisément et les mesures de dépollution à réaliser avant l'installation du chantier de forage

Le rapport ENECO de l'annexe 4 explicite le programme de dépollution du site Neischmelz. Les travaux de pré-aménagement de la zone occupée par le chantier de forage seront exécutés avant le début des travaux de foration. Ils comporteront l'excavation des sols en place sur une épaisseur de 2,2 m et la création d'une plateforme avec des remblais de qualité connue, adaptée à un usage sensible.

3 Synthèse des mesures à mettre en œuvre

Le tableau de l'annexe 9 résume les mesures préconisées.

4 Bibliographie

- [1] T. Schintgen, «Exploration for deep geothermal reservoirs in Luxembourg and the surroundings - perspectives of geothermal energy use,» Geothermal Energy - Springer, 2015.
- [2] T. Schintgen, A. Förster, H.-J. Förster et B. Norden, «Surface heatflow and lithosphere thermal structure of the Rhenohercynian Zone in the greater Luxembourg region,» Geothermics - Elsevier, 2015.
- [3] T. Schintgen et A. Förster, «Geology and basin structure of the Trier-Luxembourg Basin – implications for the existence of a buried Rotliegend graben,» Z. Dt. Ges. Geowiss. (German J. Geosci.) Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 2013.
- [4] Agence de l'eau Rhin-Meuse, « Grès du Trias inférieur (GTI),» chez *Atlas hydrogéologique du bassin Rhin-Meuse*, 202.
- [5] Björnsen Beratende Ingenieure GmbH, «Hydrogeologisches Modell "Nordliches Trias Luxemburg",» 2012.
- [6] T. Plenefisch, B. C. B. L. C. L. G. N. H. G. T. T. W. U. et Wellbrink, M., «Tiefe Geothermie - mögliche Umweltauswirkungen infolge hydraulischer und chemischer Stimulationen,» Umwelt Bundesamt, Dessau-Rosslau, 2015.

Autres sources

Loi du 18 juillet 2018 concernant la protection de la nature et des ressources naturelles.

Loi du 15 mai 2018 relative à évaluation des incidences sur l'environnement.

Loi du 30 juillet 2013 concernant l'aménagement du territoire (Landesplanungs-Gesetz).

Loi du 28 juillet 2011 portant modification de la loi modifiée du 19 juillet 2004 concernant l'aménagement communal et le développement urbain (PAG-Gesetz).

Loi modifiée du 22 mai 2008 relative à l'évaluation des incidences de certains plans et programmes sur l'environnement.

Règlement grand-ducal du 1er août 2018 déterminant la valeur monétaire des éco-points.

Règlement grand-ducal du 1er août 2018 instituant un système numérique d'évaluation et de compensation en éco-points.

Règlement grand-ducal du 1er août 2018 établissant les biotopes protégés, les habitats d'intérêt communautaire et les habitats des espèces d'intérêt communautaire pour lesquelles l'état de conservation a été évalué non favorable, et précisant les mesures de réduction, de destruction ou de détérioration y relatives.

Règlement grand-ducal du 1er août 2018 établissant l'état de conservation des habitats d'intérêt communautaire et des espèces d'intérêt communautaire.

Règlement grand-ducal du 15 mai 2018 établissant les listes de projets soumis à une évaluation des incidences sur l'environnement.

Règlement grand-ducal du 4 janvier 2016 modifiant le règlement grand-ducal du 30 novembre 2012 portant désignation des zones de protection spéciale.

Règlement grand-ducal du 30 novembre 2012 portant désignation des zones de protection spéciale.

Règlement grand-ducal du 8 janvier 2010 concernant la protection intégrale et partielle de certaines espèces de la flore sauvage.

Règlement grand-ducal du 6 novembre 2009 portant désignation des zones spéciales de conservation.

Règlement grand-ducal du 9 janvier 2009 concernant la protection intégrale et partielle de certaines espèces animales de la faune sauvage.

Règlement grand-ducal du 25 janvier 2006 déclarant obligatoire le plan directeur sectoriel « stations de base pour réseaux publics de communications mobiles ».

Règlement grand-ducal du 9 janvier 2006 déclarant obligatoire le plan directeur sectoriel « décharges pour déchets inertes ».

EU-KOM – GD Umwelt [Europäische Kommission GD Umwelt] (2001a): Prüfung der Verträglichkeit von Plänen und Projekten mit erheblichen Auswirkungen auf Natura-2000-Gebiete Methodik-Leitlinien zur Erfüllung der Vorgaben des Artikels 6 Absätze 3 und 4 der Habitat-Richtlinie 92/43/EWG. Oxford. 75p.

EU-KOM [Europäische Kommission] (2001b): Guidance on EIA – Scoping. 38p.

EU-KOM [Europäische Kommission] (2007): Leitfaden zum strengen Schutzsystem für Tierarten von gemeinschaftlichem Interesse im Rahmen der FFH-Richtlinie 92/43/EWG. 96p.

EU-KOM [Europäische Kommission] (2007/2012): Auslegungsleitfaden zu Artikel 6 Absatz 4 der 'Habitat-Richtlinie' 92/43/EWG – Erläuterungen der Begriffe: Alternativlösungen, zwingende Gründe des überwiegenden öffentlichen Interesse, Ausgleichsmaßnahmen, globale Kohärenz, Stellungnahme der Kommission. 33p.

EU-KOM [Europäische Kommission] (2012): Leitlinien für bewährte Praktiken zur Begrenzung, Milderung und Kompensierung der Bodenversiegelung. 68p