



Cartes des zones réglementaires à la géothermie de minime importance. Bassin minier du Nord-Pas-de-Calais. Région Hauts-de-France

Rapport final

BRGM/RP-70704-FR

Mai 2022



Cartes des zones réglementaires à la géothermie de minime importance. Bassin minier du Nord-Pas-de-Calais. Région Hauts-de-France

Rapport final

BRGM/RP-70704-FR

Mai 2022

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM

Abad J. (BRGM) et Bourhis F. (Cerema)

Avec la collaboration de

Szczyglowski M., Mossmann J-R., Parmentier M., Manlay A.

Vérificateur :

Nom : Pierre Durst

Fonction : Référent thématique

Date : 11/05/2022

Signature :



Approbateur :

Nom : Xavier Daupley

Fonction : Directeur régional

Date : 12/05/2022

Signature :



Le système de management de la qualité et de l'environnement
est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Contact : qualite@brgm.fr



Mots-clés : géothermie, risque géologique, cartographie, Code minier, minime importance, cartes réglementaires, Bassin minier Nord-Pas-de-Calais, Hauts-de-France

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

Abad J. (BRGM) et Bourhis F. (CEREMA) avec la collaboration de Szczyglowski M., Mossmann J-R., Parmentier M., Manlay A. (2021) – Cartes des zones réglementaires à la géothermie de minime importance. Bassin minier du Nord-Pas-de-Calais. Région Hauts-de-France. Rapport final. BRGM/RP-70704-FR, 102 p., 52 ill., 20 tabl., 1 ann.

Synthèse

Dans le contexte du développement des énergies renouvelables et de la transition énergétique, la géothermie est une activité promue par le Ministère de la Transition Ecologique (MTE), notamment dans le cadre des actions de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME). Afin de favoriser le recours à la géothermie, de tenir compte des évolutions technologiques et de mieux prendre en compte l'incidence des installations sur l'environnement, la réglementation relative à la géothermie de minime importance a fait l'objet d'une révision en 2015 (décret n° 2015-15 du 8 janvier 2015). Celle-ci a été accompagnée par une carte, à l'échelle nationale, indiquant les zones géographiques où peuvent exister des risques liés à la réalisation d'un forage géothermique. Elle est appelée carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance. Un guide d'élaboration de cette carte a été mis au point par le MTES (juillet 2015). Ce guide constitue la méthodologie fixée dans l'arrêté relatif à la carte des zones en matière de géothermie de minime importance, pris en application de l'article 22-6 du décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 modifié.

La carte nationale tient compte de 9 phénomènes redoutés pouvant être rencontrés lors de la réalisation des travaux d'un forage géothermique ou lors de l'exploitation d'un gîte géothermique. Elle distingue trois zones selon l'importance des enjeux au regard des intérêts mentionnés aux articles L. 161-1 du Code minier :

- Les zones dites « rouges » dans lesquelles la réalisation d'ouvrages géothermiques de minime importance est réputée présenter des dangers et inconvénients graves et ne peuvent pas bénéficier du régime de la minime importance ;
- Les zones dites « orange » dans lesquelles les activités géothermiques de minime importance ne sont pas réputées présenter des dangers et inconvénients graves, mais dans lesquelles il est exigé la production d'une attestation de comptabilité d'un projet de géothermie de minime importance, rédigé par un expert agréé prévue à l'article 22-2 du décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 modifié ;
- Les zones dites « vertes » dans lesquelles les activités géothermiques de minime importance sont réputées ne pas présenter des dangers et inconvénients graves.

Cette carte nationale est entrée en vigueur le 1^{er} juillet 2015 et est disponible sur le site www.geothermies.fr.

L'arrêté du 25 juin 2015, relatif à la carte des zones en matière de géothermie de minime importance, prévoit la possibilité de réviser régionalement la carte nationale pour apporter plus de précision en matière de connaissance et de localisation des phénomènes redoutés. Dans cette carte régionale, les niveaux d'aléas ou de susceptibilité attribués à chaque phénomène peuvent être différents de ceux de la carte nationale.

Dans l'objectif d'avoir une carte régionale du Bassin minier du Nord-Pas-de-Calais plus précise, la Direction Générale de la Prévention des Risques du ministère (DGPR) a demandé au Cerema et au BRGM la transposition régionale de la cartographie réglementaire relative à la géothermie de minime importance. Les deux organismes ont effectué ce travail conjointement. La partie traitée par le BRGM a été financée par le BRGM sur ses crédits de Service public et une aide financière apportée par l'ADEME. La contribution du Cerema a été financée par le MTE (sous forme de Subvention pour Charge de Service Public) et par l'Ademe.

Sur la base de leurs connaissances régionales respectives, le Cerema a travaillé sur les phénomènes d'affaissement/effondrement liés aux cavités minières et non-minières, de mouvements de terrain de type glissement et sur les pollutions des sols et des nappes d'eau souterraines, tandis que le BRGM a travaillé sur les données relatives à la présence d'évaporites, à l'artésianisme, aux communications entre aquifères et aux remontées de nappe.

Les phénomènes retenus dans le Bassin minier Nord-Pas-de-Calais sont :

- Affaissement/surrection lié aux formations évaporitiques ;
- Affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mine) ;
- Affaissement/effondrement lié aux cavités minières ;
- Mouvements de terrain (glissement) ;
- Pollution des sols et/ou des nappes souterraines ;
- Artésianisme ;
- Mise en communication d'aquifères ;
- Remontée de nappe.

Au regard du contexte régional, il a été jugé nécessaire de cartographier un autre phénomène spécifique au Bassin minier, la présence et l'émission de gaz de mine (grisou), en plus de ceux envisagés dans le guide d'élaboration de la carte des zones réglementaires (MTES, 2015).

Le traitement plus approfondi des données des différents phénomènes retenus, le maillage de 500 x 500 m et le découpage en 3 tranches d'épaisseur (10-50 m, 10-100 m et 10-200 m) a permis d'adapter une plus grande précision à la carte réglementaire du Bassin minier Nord-Pas-de-Calais.

Les superficies des différentes couleurs (vertes, orange et rouges), de chacune des cartes (cartes nationales et cartes régionales pour doublets sur nappe et pour SGV), présentent quelques différences qui sont détaillées ci-après.

La carte du Bassin houiller diminue sensiblement la part des zones vertes du territoire, au profit des zones orange et voit l'apparition de zone rouge, de 1,2% à 7,8% selon la carte. Cette régionalisation de la carte réglementaire a pour effet de mettre davantage en évidence les zones à risque du Bassin houiller vis-à-vis de la réalisation de forages géothermiques, et en particulier la spécificité de l'émission de gaz de mine, phénomène non pris en considération lors de l'élaboration de la carte nationale. En tant qu'aléa soumis à de grandes incertitudes, il nécessite un avis d'expert et explique en grande partie l'extension majoritaire de la couleur orange.

Sommaire

1. Introduction	11
2. Règlementation applicable à la géothermie de minime importance	15
2.1. LE CODE MINIER.....	15
2.2. LES REGLEMENTATIONS TERRITORIALISEES A PRENDRE EN CONSIDERATION	16
3. Contexte géologique et hydrogéologique	17
3.1. GENERALITES.....	17
3.2. CADRE GEOLOGIQUE	18
3.3. AQUIFERES REGIONAUX.....	25
4. Méthodologie de réalisation de la carte règlementaire.....	33
4.1. MOTIVATIONS ET ADAPTATION REGIONALE.....	33
4.2. METHODOLOGIE APPLIQUEE.....	33
5. Fiches des phénomènes redoutés	37
5.1. PHENOMENE « AFFAISSEMENT/SURRECTION LIE AUX FORMATIONS EVAPORITIQUES ».....	37
5.1.1. Description du phénomène et occurrences	37
5.1.2. Qualification du phénomène	37
5.1.3. Données utilisées pour le traitement	37
5.1.4. Cotation et cartographie du phénomène « affaissement/surrection lié aux formations évaporitiques »	40
5.2. PHENOMENE « AFFAISSEMENT/EFFONDREMENT LIE AUX CAVITES (HORS MINES) »	43
5.2.1. Description du phénomène et occurrences	43
5.2.2. Qualification du phénomène	43
5.2.3. Données utilisées pour le traitement	44
5.2.4. Cotation et cartographie du phénomène « affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines) »	45
5.3. PHENOMENE « AFFAISSEMENT/EFFONDREMENT LIE AUX CAVITES MINIERES »	48
5.3.1. Description du phénomène et occurrences	48
5.3.2. Données utilisées pour le traitement	48
5.3.3. Cotation et cartographie du phénomène « affaissement/effondrement lié aux cavités minières »	49

5.4. PHENOMENE « MOUVEMENTS DE TERRAIN DE TYPE GLISSEMENT » ...	51
5.4.1. Description du phénomène et occurrences.....	51
5.4.2. Qualification du phénomène	51
5.4.3. Données utilisées pour le traitement.....	51
5.4.4. Cotation et cartographie de l'aléa « mouvements de terrain de type glissement »	52
5.5. PHENOMENE « POLLUTION DES SOLS ET DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINE »	54
5.5.1. Description du phénomène et occurrences.....	54
5.5.2. Qualification du phénomène	54
5.5.3. Données utilisées pour le traitement.....	56
5.5.4. Cotation et cartographie du phénomène « pollution des sols et des nappes d'eau souterraine »	56
5.6. PHENOMENE « ARTESIANISME »	58
5.6.1. Phénomène redouté	58
5.6.2. Qualification du phénomène	58
5.6.3. Données utilisées pour le traitement.....	58
5.6.4. Cotation et cartographie du phénomène « artésianisme »	60
5.7. PHENOMENE « MISE EN COMMUNICATIONS DES EAUX SOUTERRAINES ENTRE DIFFERENTS AQUIFERES ».....	62
5.7.1. Phénomène redouté	62
5.7.2. Qualification du phénomène	62
5.7.3. Données utilisées pour le traitement.....	62
5.7.4. Cotation et cartographie du phénomène « mise en communication d'aquifères »	65
5.8. PHENOMENE « PROBLEMES LIES A LA REINJECTION ».....	68
5.8.1. Phénomène redouté	68
5.8.2. Qualification du phénomène	68
5.8.3. Données utilisées pour le traitement.....	68
5.8.4. Cotation et cartographie du phénomène « remontée de nappe phréatique »	69
5.9. PHENOMENE « PRESENCE ET EMISSION DE GAZ DE MINE ».....	71
5.9.1. Phénomène redouté	71
5.9.2. Qualification du phénomène	75
5.9.3. Données utilisées pour le traitement.....	78
5.9.4. Cotation et cartographie du phénomène « présence et émission de gaz de mine »	79
6. Cartes des zones réglementaires régionales relatives à la géothermie de minime importance.....	81

6.1. PRISE EN COMPTE DE L'ALEA « PRESENCE ET EMISSION DE GAZ DE MINE » DANS LA PONDERATION	81
6.2. RESULTAT DE LA PONDERATION	82
6.3. COMPARAISON AVEC LA CARTE NATIONALE	85
6.4. ANALYSE DES RESULTATS	88
7. Conclusion.....	90
8. Bibliographie	93

Liste des figures

<i>Illustration 1 – Cartes réglementaires nationales pour les systèmes fermés (à gauche) et ouverts (à droite).</i>	12
Illustration 2 – Localisation du Bassin minier du Nord – Pas-de-Calais.....	17
Illustration 3 – Emprise des travaux miniers dans le bassin houiller du Nord – Pas-de-Calais (DPSM/UTAM Nord)	18
Illustration 4 – Situation du bassin houiller du Nord – Pas-de-Calais (Becq-Giraudon, 1983) ...	19
Illustration 5 – Coupe schématique de la partie centrale du bassin houiller et des formations situées au nord (tracé CD de l'illustration précédente ; Beckelynck et al. 1983).....	19
Illustration 6 – Echelle stratigraphique du Carbonifère (source BRGM, 2006)	21
Illustration 7 – Variations d'épaisseur des formations du Houiller (Becq-Giraudon, 1983).....	22
Illustration 8 – Stratigraphie du BHNPC à la cote -300 m NGF (source DPSM).....	23
Illustration 9 – Coupes géologiques du BHNPC (source DPSM).....	24
Illustration 10 – Localisation des puits naturels du bassin et extension des évaporites viséennes (Becq-Giraudon, 1983)	25
Illustration 11 – Carte hydrogéologique du secteur d'étude (fonds de carte : carte hydrogéologique de la France au 1/1 000 000).....	26
Illustration 12 – Représentation schématique des aquifères du bassin houiller du Nord – Pas-de-Calais (Caous et Leplat, 1994)	27
Illustration 13 – Carte piézométrique de la nappe de la craie en NPC (en haut : Hautes Eaux – mai 2009 ; en bas : Basses Eaux – octobre 2009) (Cardin et al., 2009).....	28
Illustration 14 – Extrait de la carte piézométrique de la nappe des Calcaires du Carbonifère (en haut : juillet 2010 ; en bas : octobre 2010) (Crastes de Paulet et al., 2010)	29
Illustration 15 – Hypothèse de formations des puits naturels liés aux évaporites (« breccia pipes ») (source : Licour 2014).	38
Illustration 16 – Isohypses du Calcaire carbonifère (source : Bosch et al. 1981).	39
Illustration 17 – Extraction des sondages de la Banque du Sous-Sol (BSS) avec log stratigraphique, classée selon la profondeur du toit des calcaires viséens (source : Banque des Données du Sous-Sol). Fond de carte : OpenStreetMap.....	40

Illustration 18 – Niveaux d'aléa pour le phénomène « affaissement/surrection lié aux formations évaporitiques » pour les trois tranches de profondeur.....	42
Illustration 19 – Niveaux d'aléa pour le phénomène « affaissement/effondrement lié aux cavités non-minières » dans la tranche de profondeur 10-50 m.....	46
Illustration 20 – Niveaux d'aléa pour le phénomène « affaissement/effondrement lié aux cavités non-minières » dans les tranches de profondeur 10-100 m et 10-200 m.....	47
Illustration 21 – Niveaux d'aléa pour le phénomène « affaissement/effondrement lié aux cavités minières ».....	50
Illustration 22 – Niveaux d'aléa pour le phénomène « mouvements de terrain de type glissement ».....	53
Illustration 23 – Niveaux d'aléa pour le phénomène « pollution des sols et des nappes d'eau souterraine pour toutes les tranches de profondeur.....	57
Illustration 24 – Forages dans la BSS et la BSSEAU contenant un lexique indiquant un caractère potentiellement artésien. Etoiles bleues : points d'eau ; étoiles ocre : autres types de forage.....	59
Illustration 25 – Extension de la nappe de la craie, avec délimitation du secteur d'artésianisme.....	59
Illustration 26 – Niveaux d'aléa pour le phénomène « artésianisme » pour les 3 tranches de profondeur.....	61
Illustration 27 – Aquifères recensés dans la BDLISA et limites communales.....	63
Illustration 28 – Superposition des aquifères de haut en bas (source : BDLISA).....	64
Illustration 29 – Résultat de l'analyse de la BDLISA concernant les possibilités d'interaction entre nappes phréatiques traversées par un même forage géothermique.....	65
Illustration 30 – Niveaux d'aléa pour le phénomène « mise en communication d'aquifères » pour les trois tranches de profondeur.....	66
Illustration 31 – Cartographie nationale de l'aléa inondation par remontée de nappe et zone d'étude (contour cyan).....	69
Illustration 32 – A gauche : Exemple du léger décalage entre le carroyé « remontée de nappe » (carrés rouges et oranges) et le carroyé « GMI » (contours noirs). A droite : conversion du carroyé « remontée de nappe » en cartographie du risque pour le présent projet (jaune = susceptibilité faible bleu = susceptibilité nulle).....	70
Illustration 33 – Niveaux d'aléa pour le phénomène « problèmes liés à la réinjection » pour la tranche 0 – 50 m.....	70
Illustration 34 – Coupe schématisée du terrain d'étude au droit des travaux miniers.....	72
Illustration 35 – Remontée de la nappe au sein des terrains exploités.....	73
Illustration 36 – Remontée de gaz de mine à la faveur d'un forage géothermique.....	73
Illustration 37 – Notion de terrain de recouvrement.....	76
Illustration 38 – Notion d'épaisseur protectrice de la couche des dièves.....	76
Illustration 39 – Notion de puissance protectrice de la couverture hydraulique.....	76
Illustration 40 Niveaux d'aléa pour le phénomène « présence et émission de gaz de mine » - Tranche de profondeurs 10-50 m.....	79
Illustration 41 – Niveaux d'aléa pour le phénomène « présence de gaz de mine » - Tranche de profondeurs 10-100 m.....	80
Illustration 42 – Niveaux d'aléa pour le phénomène « présence et émission de gaz de mine » - Tranche de profondeurs 10-200 m.....	80

Illustration 43 – Classement final pour les doublets sur nappe. Tranche de profondeurs : 10-50 m	83
Illustration 44 – Classement final pour les sondes géothermiques verticales. Tranche de profondeurs : 10-50 m	83
Illustration 45 – Classement final pour les doublets sur nappe. Tranche de profondeurs : 10-100 m	84
Illustration 46 – Classement final pour les sondes géothermiques verticales. Tranche de profondeurs : 10-100 m	84
Illustration 47 – Classement final pour les doublets sur nappe. Tranche de profondeurs : 10-200 m	85
Illustration 48 – Classement final pour les sondes géothermiques verticales. Tranche de profondeurs : 10-200 m	85
Illustration 49 – Classement de la zone d'étude avec la méthode « nationale » pour les doublets sur nappe, avant réalisation de la présente étude	86
Illustration 50 – Classement de la zone d'étude avec la méthode « nationale » pour les sondes géothermiques verticales, avant réalisation de la présente étude.	87
Illustration 51 – Mailles en zone rouge pour les doublets sur nappe 10-50 m	88
Illustration 52 – Mailles en zone rouge pour les sondes verticales 10-100 m	88

Liste des tableaux

Tableau 1 – Cotation multicritère des phénomènes redoutés et des facteurs aggravants utilisés pour la cartographie réglementaire régionale	35
Tableau 2 - Niveaux du phénomène « affaissement/surrection lié aux niveaux évaporitiques » proposés pour les cartes révisées à l'échelle locale régionale par le guide d'élaboration de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance (version 2015)	40
Tableau 3 - Impact du phénomène « affaissement/surrection lié aux formations évaporitiques » : calcul du nombre de mailles auxquelles il a été affecté une susceptibilité faible	41
Tableau 4 – valeurs des niveaux d'aléa du phénomène lorsqu'ils sont déterminés à partir d'une carte d'aléa	46
Tableau 5 – Valeurs des niveaux d'aléa du phénomène lorsqu'ils sont déterminés à partir de la base de données Géorisques	46
Tableau 6 – valeurs des niveaux d'aléa du phénomène	49
Tableau 7 – valeurs des niveaux de susceptibilité du phénomène	52
Tableau 8 – Qualification de l'aléa pour les sites pollués recensés dans SIS	55
Tableau 9 – Valeurs des niveaux de susceptibilité du phénomène.	56
Tableau 10 Valeurs des niveaux de susceptibilité du phénomène	60
Tableau 11 – Niveaux d'aléa pour le phénomène « mise en communication d'aquifères ».	65
Tableau 12 – Cotation du phénomène « remontée de nape phréatique »	69
Tableau 13 – Susceptibilité du phénomène pour une épaisseur protectrice des dièves inférieure à 25 mètres	77
Tableau 14 – Susceptibilité du phénomène pour une épaisseur protectrice des dièves comprise entre 25 et 50 mètres	77

Tableau 15 – Susceptibilité du phénomène pour une épaisseur protectrice des dièves supérieure à 50 mètres	77
Tableau 16 – Valeurs des niveaux de susceptibilité du phénomène	79
Tableau 17 – Répartition procentuelle de chaque classe.	82
Tableau 18 – Comparaison du nouveau classement (dans lequel les phénomènes locaux sont pris en compte) avec le classement dit « national » pour le doublet sur nappe.....	86
Tableau 19 – Comparaison du nouveau classement (dans lequel les phénomènes locaux sont pris en compte) avec le classement dit « national » pour les sondes géothermiques verticales (SVG).	86
Tableau 20 Nombre de mailles basculant en zone orange du fait de la suppression d'un phénomène	88

Liste des annexes

Annexe 1 Liste des communes concernées par l'étude.....	97
---	----

1. Introduction

Le développement des énergies renouvelables, dans le contexte de la transition énergétique, s'est imposé à un cadre réglementaire peu adapté à la multiplication de nouveaux ouvrages. La réglementation relative à la géothermie de minime importance a fait l'objet d'une révision impliquant le recours à un zonage réglementant les conditions de mise en œuvre des installations petites ou modestes, visant à exploiter le potentiel calorique du sol et des eaux souterraines.

L'élaboration de cette cartographie réglementaire est basée sur la méthodologie fixée dans l'arrêté du 25 juin 2015 relatif à la carte des zones en matière de géothermie de minime importance, pris en application de l'article 22-6 du décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 modifié (guide élaboré à partir des réflexions menées par le groupe de travail « Cartographie » mis en place pour le Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie en mars 2014).

Cette cartographie tient compte d'un ensemble de phénomènes pouvant être rencontrés lors de la réalisation des travaux de forage ou lors de l'exploitation du gîte géothermique. Les conséquences considérées peuvent être d'ordre géologique (causant notamment en surface des désordres sur les bâtiments situés au voisinage du forage, ou la dégradation des ouvrages mis en place dans l'ouvrage souterrain), ou environnemental (notamment par la dégradation ou la pollution des eaux souterraines). Sa traduction s'exprime selon l'importance des enjeux au regard des intérêts mentionnés aux articles L. 161-1 du Code minier, à travers l'identification de :

- zones vertes, dans lesquelles les activités géothermiques de minime importance sont réputées ne pas présenter des dangers et inconvénients graves ;
- zones orange, dans lesquelles les activités géothermiques de minime importance ne sont pas réputées présenter des dangers et inconvénients graves et dans lesquelles est exigé l'intervention d'un expert agréé et la production de l'attestation de comptabilité prévue à l'article 22-2 du décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 modifié ;
- zones rouges, dans lesquelles la réalisation d'ouvrages de géothermie est réputée présenter des dangers et inconvénients graves et ne peut pas bénéficier du régime de la minime importance.

Une première cartographie, à l'échelle du territoire national, est en vigueur le 1^{er} juillet 2015 et disponible sous www.geothermies.fr. Elle comprend deux couches d'information, une pour chaque type de forage : ainsi l'une est relative aux systèmes fermés (type Sondages Géothermiques Verticaux, SVG) et l'autre aux systèmes ouverts (pompages/réinjection en nappe) (Illustration 1).

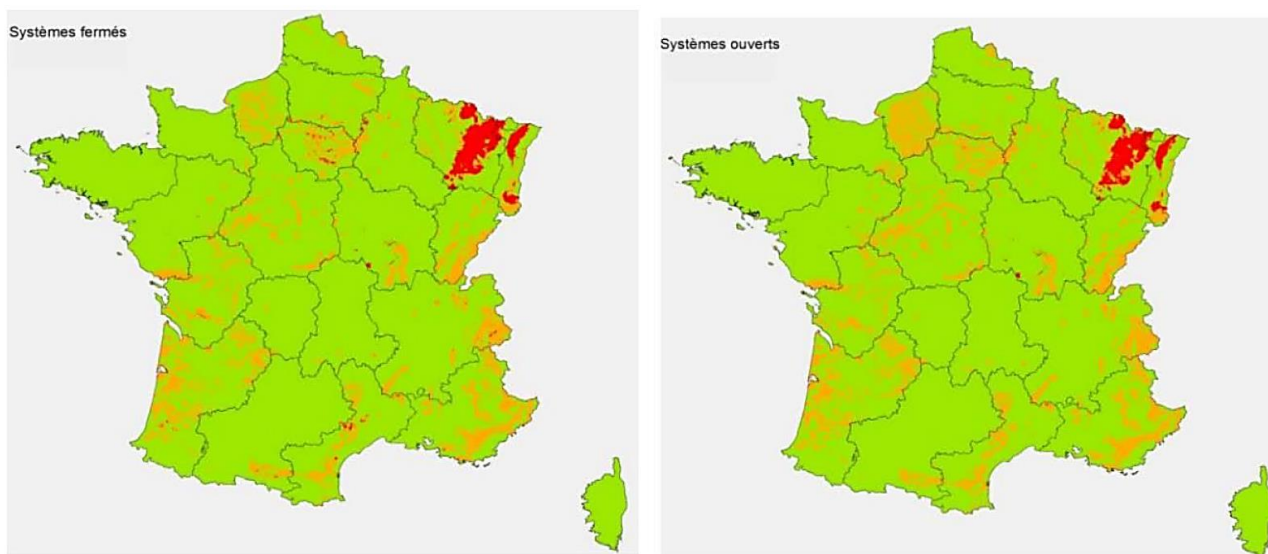


Illustration 1 – Cartes réglementaires nationales pour les systèmes fermés (à gauche) et ouverts (à droite).

Cette cartographie a vocation à être révisée localement, par l'apport de précisions en matière de connaissance et de localisations des phénomènes. Cette actualisation vise en particulier à prendre en compte des phénomènes qui n'ont pas pu être intégrés au niveau national ou qui l'ont été imparfaitement. On peut citer par exemple le cas de la présence et de l'émission du gaz de mine dans le Bassin minier Nord-Pas-de-Calais ou encore la présence d'évaporite dans la région de Saint-Amand-les-Eaux.

Pour le Bassin minier Nord-Pas-de-Calais, l'actualisation est réalisée conjointement par le BRGM et le Cerema et fait l'objet de ce rapport d'étude.

A la demande de la DGPR (Direction Générale de la Prévention des Risques du Ministère de la Transition Ecologique), maître d'ouvrage de l'étude, et après concertation, il a été arrêté une répartition des phénomènes à étudier entre le BRGM et le Cerema en s'appuyant en particulier sur l'état des connaissances territoriales des deux organismes.

Les phénomènes liés aux roches évaporitiques, à l'artésianisme, aux mises en communication entre aquifères et aux remontées de nappes ont été étudiés par le BRGM. Les phénomènes liés aux cavités minières et non-minières, aux mouvements de terrain (glissements) et aux pollutions des sols et des nappes souterraines ont été étudiés par le Cerema. Au regard du contexte régional, il a été jugé nécessaire de cartographier un autre phénomène spécifique au Bassin minier, la présence et l'émission de gaz de mine (grisou), en plus de ceux envisagés dans le guide d'élaboration de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance (version de 2015) du ministère en charge de l'environnement.

Ce rapport expose les méthodologies utilisées pour la caractérisation des huit phénomènes redoutés pris en compte, et présente les six cartes réglementaires régionales réalisées pour les deux types d'usages géothermiques possibles, les sondes géothermiques verticales (échangeur fermé) et l'exposition par doublets sur aquifère (échangeur ouvert), et pour trois gammes de profondeur (10-50 m, 10-100 m et 10-200 m).

Le projet a été suivi par un Comité de pilotage (COPIL) composé, au niveau national, de la DGPR, de la DGECE (Direction Générale de l'Energie et du Climat) du Ministère de la Transition Ecologique, de l'ADEME, du Cerema et du BRGM. A l'échelle régionale, le COPIL régional se

compose de la DREAL Hauts-de-France, de l'ADEME Hauts-de-France, du BRGM, du Cerema et du Conseil Régional des Hauts-de-France.

2. Règlementation applicable à la géothermie de minime importance

2.1. LE CODE MINIER

La géothermie est réglementée par le Code minier qui considère comme des mines les gîtes renfermés dans le sein de la terre dont on peut extraire de l'énergie sous forme thermique, notamment par l'intermédiaire des eaux chaudes et des vapeurs souterraines qu'ils contiennent. Les installations de géothermie nécessitent des autorisations de recherche et d'exploitation. Les installations de moins de 200 m de profondeur et répondant aux critères précisés ci-dessous-bénéficient d'une dérogation, celles-ci sont soumises à une simple déclaration. Ces dernières sont appelées « géothermie de minime importance ».

Les critères de la géothermie de minime importance sont définis dans le paragraphe II de l'article 3 du décret n° 78-498 du 28 mars 1978 modifié.

Les critères de la géothermie de minime importance sont :

- Pour les échangeurs géothermiques fermés :
 - o la profondeur du forage est comprise entre 10 et 200 m ;
 - o la puissance thermique maximale prélevée du sous-sol et utilisée pour l'ensemble de l'installation est inférieure à 500 kW ;
 - o les échangeurs ne doivent pas être situés sur une zone rouge.
- Pour les échangeurs géothermiques ouverts :
 - o La profondeur du forage est comprise entre 10 et 200 m ;
 - o La puissance thermique maximale prélevée du sous-sol et utilisée pour l'ensemble de l'installation est inférieure à 500 kW ;
 - o La température de l'eau prélevée en sortie des ouvrages de prélèvement est inférieure à 25 °C ;
 - o Les eaux prélevées sont réinjectées dans le même aquifère et la différence entre les volumes d'eaux prélevées et réinjectées est nulle ;
 - o Les débits prélevés ou réinjectés sont inférieurs au seuil d'autorisation fixé à la rubrique 5.1.1.0 de l'article R. 214-1 du Code de l'environnement ;
 - o Les échangeurs ne doivent pas être situés sur une zone rouge.

Les conditions de mise en œuvre sont précisées dans le décret n°2006-649 du 2 juin 2016 modifié relatif aux travaux miniers, aux travaux de stockage souterrain et à la police des mines et des stockages souterrains.

La réalisation des travaux de forages géothermiques mis en œuvre pour l'exploitation d'un gîte géothermique de minime importance (aussi dénommés ouverture de travaux d'exploitation d'un gîte géothermique) sont encadrés comme suit :

- Préalablement aux travaux de forage, l'activité géothermique répondant aux critères de la géothermie de minime importance doit être déclarée. Cette démarche doit être réalisée

sur le service dédié, accessible sur le site « <https://www.geothermie.developpement-durable.gouv.fr> » ;

- Les forages doivent être réalisés par une entreprise qualifiée, conformément à l'article 22-7 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 et selon les conditions techniques prévues par l'arrêté du 25 juin 2015 relatif à la qualification des entreprises de forage intervenant en matière de géothermie de minime importance ;
- La localisation d'un échangeur doit répondre aux prescriptions définies par l'arrêté du 25 juin 2015 relatif aux prescriptions générales applicables. En outre, lorsque l'échangeur se situe en zone orange au regard de la carte des zones réglementaires en matière de géothermie de minime importance, une attestation de compatibilité du projet au regard du contexte géologique de la zone d'implantation et de l'absence de dangers et inconvénients graves pour la protection des intérêts mentionnés à l'article L.161-1 du code minier, attestation délivrée par un expert agréé dans les conditions prévues à l'article 22-8 du décret n°2006-649 du 2 juin 2006 relatif aux travaux miniers et des stockages souterrains, est jointe à la télédéclaration.

L'exploitation d'un gîte géothermique de minime importance et sa cessation d'exploitation doivent être mises en œuvre conformément à l'arrêté du 25 juin 2015 relatif aux prescriptions générales applicables aux activités géothermiques de minime importance. Les travaux de cessation d'exploitation et le changement d'exploitant de la ressource sont à télédéclarer. Ces démarches peuvent être réalisées par voie dématérialisée.

L'ensemble des informations nécessaires à ces démarches est disponible sur le site internet « www.geothermies.fr ».

2.2. LES REGLEMENTATIONS TERRITORIALISEES A PRENDRE EN CONSIDERATION

Les forations envisagées dans le cadre de cette géothermie puis l'exploitation de l'ouvrage induisent la prise en compte de certaines précautions au regard des enjeux et des risques présents dans le sous-sol. Le régime de la minime importance s'applique sans préjudice des autres réglementations. Il s'agit en particulier de respecter les prescriptions sur les zones à proximité de captages d'eau potable, d'eau minérale, les zones mentionnées dans les SDAGE¹ et les SAGE² ainsi que les périmètres qui disposent de servitudes d'utilité publiques encadrant l'utilisation du sol et du sous-sol.

Ces réglementations sont indépendantes de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance. Elles devront être prises en compte lors de la réalisation d'un forage de géothermie.

Il appartient à l'exploitant et à tout sous-traitant impliqué dans l'activité de géothermie de ce dernier de s'informer et de mettre en œuvre la réglementation spécifique applicable sur la zone.

¹ SDAGE : schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux

² SAGE : schéma d'aménagement et de gestion de l'eau

3. Contexte géologique et hydrogéologique

Cette présentation du contexte géologique et hydrogéologique du Bassin minier Nord – Pas-de-Calais est essentiellement reprise de Manceau et Vernoux (2018).

3.1. GENERALITES

La zone d'étude concerne l'ensemble du Bassin minier Artois Hainaut (Illustration 2), qui s'étend sur 1 200 km² dans les départements du Nord et du Pas-de-Calais (région Hauts-de-France). Géographiquement, le Bassin s'étend depuis la rivière la Lys, à l'ouest, à la frontière belge, à l'est, sur une longueur de 120 kilomètres et avec une extension transversale de 12 kilomètres (Illustration 3).



Illustration 2 – Localisation du Bassin minier du Nord – Pas-de-Calais

Par ailleurs, le Bassin minier est également caractérisé par :

- Près de 1,2 million d'habitants ;
- Un périmètre de 256 communes (liste complète en Annexe 1) ;
- Une densité de plus de 650 habitants/km² ;

Les zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance vont être cartographiées sur ces 256 communes, communes sur lesquelles 50 concessions minières avaient été octroyées mais dont tous les niveaux charbonneux n'ont pas été exploités. La carte suivante indique l'emprise des travaux miniers (Illustration 3).

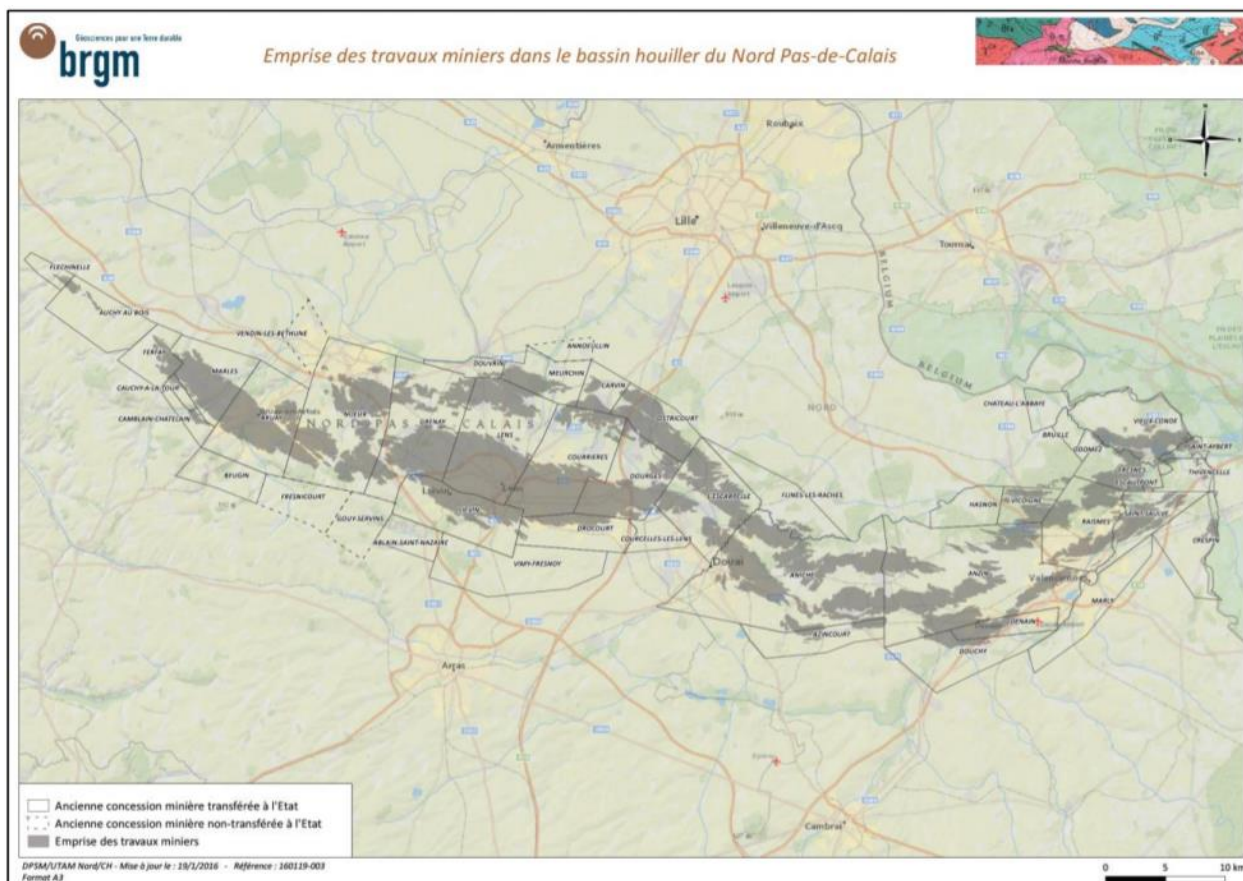


Illustration 3 – Emprise des travaux miniers dans le bassin houiller du Nord – Pas-de-Calais (DPSM/UTAM Nord)

3.2. CADRE GEOLOGIQUE

Cette présentation du cadre géologique est essentiellement reprise de Caous et Leplat (1994) et Becq-Giraudon *et al.* (1983).

Le Bassin minier du Nord – Pas-de-Calais fait partie de la longue bande houillère qui s'étend de l'Angleterre à l'Europe centrale, avec un changement de direction majeur dans le secteur de Douai (Illustration 4). Il dessine une sorte de cuvette très allongée qui se relève et disparaît à l'ouest, alors que vers l'est, elle s'approfondit jusqu'à dépasser les 1 000 m. Au nord, il s'appuie sur les formations dinantiennes, qui constituent la base du système carbonifère (Calcaire Carbonifère). Au sud, son extension sous les morts-terrains (terme utilisé par les mineurs pour désigner les terrains de couverture du gisement houiller) est limitée par un chevauchement majeur, connu sous le nom de Grande Faille du Midi, qui détermine le recouvrement des terrains houillers par des terrains plus anciens, d'âge siluro-dévonien.

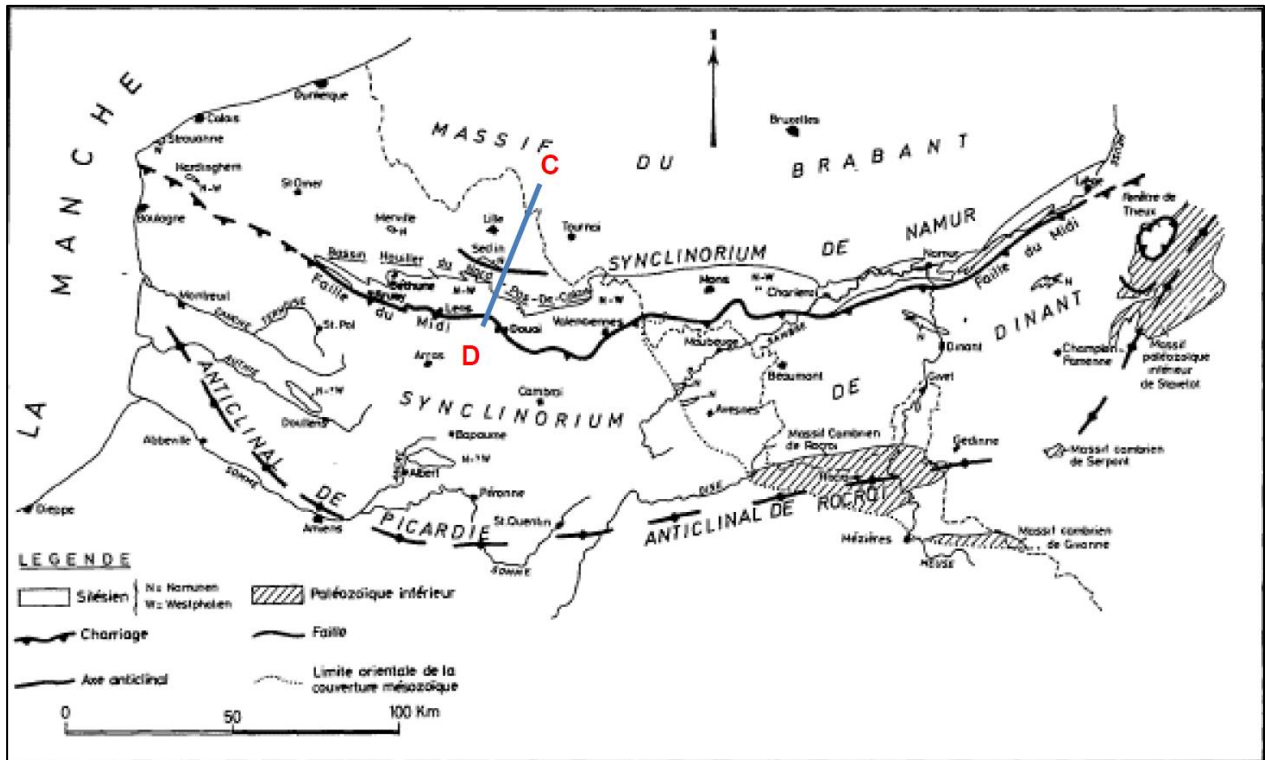


Illustration 4 – Situation du bassin houiller du Nord – Pas-de-Calais (Becq-Giraudon, 1983)

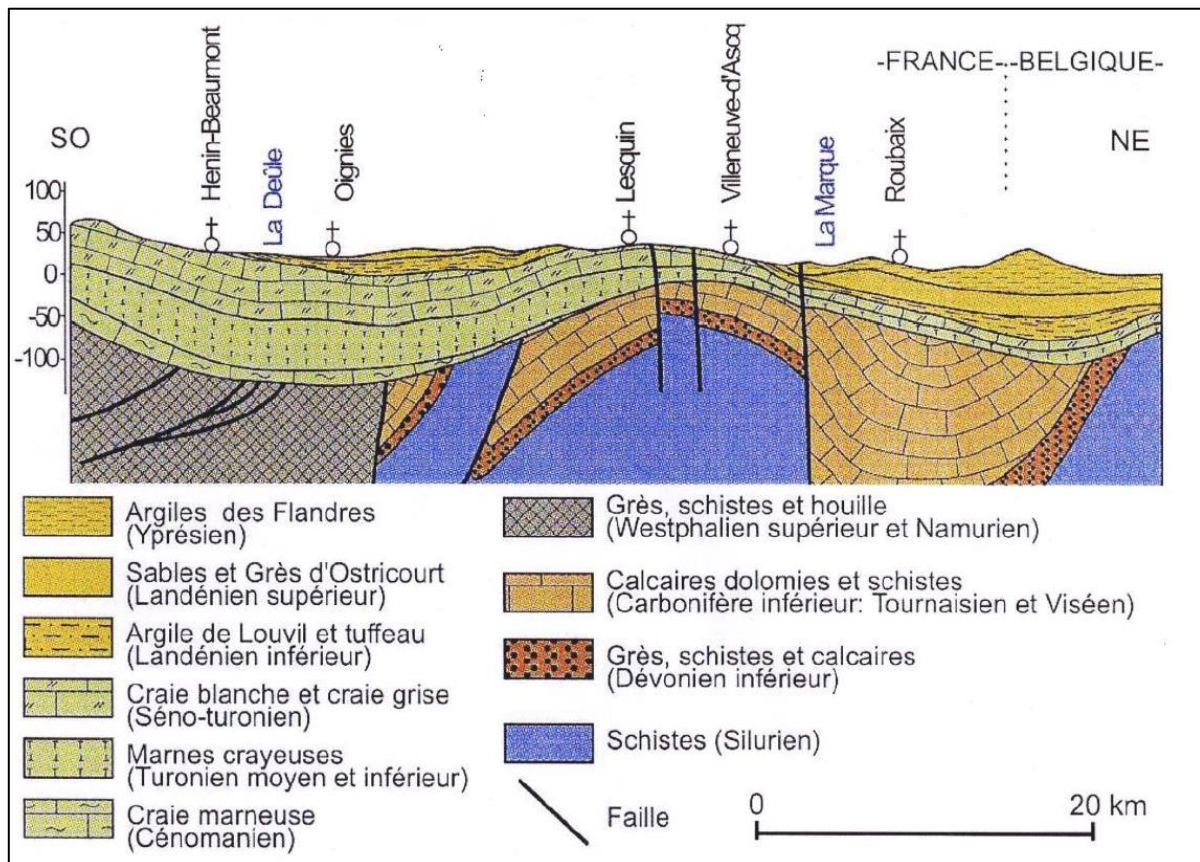


Illustration 5 – Coupe schématique de la partie centrale du bassin houiller et des formations situées au nord (tracé CD de l'illustration précédente ; Beckelynnck et al. 1983)

Sur l'ensemble du Bassin, les terrains primaires sont recouverts par les assises sédimentaires suivantes, d'âges crétacé, tertiaire et quaternaire. Toutes ces formations ne sont pas présentes en tout point (Illustration 5) :

- Des argiles et sables grossiers d'origine continentale (Wealdien) remplissant les dépressions de la plate-forme primaire ;
- Des formations marines (Albien) composées de sables fins et argiles plastiques (Gault), dans la partie occidentale (épaisseur : quelques mètres), de grès et gaize de teinte verte, dans la partie extrême-orientale (épaisseur : plusieurs dizaines de mètres) ;
- Un conglomérat de galets roulés de roches primaires appelé « tourtia », (épaisseur : quelques mètres) s'étendant sur la totalité du Bassin car résultant de la grande transgression cénomaniennne ;
- Des craies marneuses à argileuses grises à blanchâtres (Cénomaniennne) épaisses de 10 à 40 m ;
- Des marnes gris-verdâtre à gris-bleu appelées « dièves » (Turonien inférieur) dont l'épaisseur moyenne oscille entre 30 et 40 m, mais peut localement atteindre 20 m (Valenciennois) ou 50 m et plus (secteur d'Onnaing Saint-Saulve) ;
- Des craies marneuses gris-bleuâtre appelées « bleus » (Turonien moyen), dont l'épaisseur moyenne se situe également entre 30 et 40 m, sauf dans le Valenciennois où elle ne dépasse guère 20 m ;
- Une craie blanc-grisâtre à silex (Turonien supérieur), épaisse de 8 à 15 m, sauf dans le Valenciennois où elle atteint la vingtaine de mètres ;
- Des craies blanches, d'abord grossières à la base, avec des silex, puis de plus en plus fines et pures vers le sommet, sans silex (Sénonien). Leur épaisseur varie entre 15 et 55 m lorsqu'elles ont été entièrement épargnées par l'érosion ;
- Des formations tertiaires (Landénien) localisées à la bordure nord du Bassin et représentées par un ensemble de sables fins glauconieux, avec niveaux indurés (tuffeau) comme dans le Valenciennois, et d'argiles plastiques gris-noir (Argile de Louvil), intercalées vers la base ;
- Enfin, des dépôts quaternaires relativement peu épais et représentés essentiellement par les alluvions des principales vallées (Escaut, Scarpe, Souchez) et des zones de marais et par les limons de plateaux et colluvions de vallées sèches.

L'épaisseur des morts-terrains est très variable :

- 30 à 40 m à l'est ;
- 140 à 180 m à l'ouest ;
- 220 à 290 m dans certains secteurs (Aniche, Saint-Aybert).

Sous les morts-terrains, le gisement houiller, d'âge namuro-westphalien (Illustration 6 et Illustration 7), se présente sous forme de veines ou passées de charbon dans une masse de terrains « schisteux » avec intercalation de niveaux gréseux. On distingue 5 niveaux stratigraphiques (du plus récent au plus ancien) :

- Westphalien D et C (assise de Bruay) ;
- Westphalien B (assise d'Anzin) ;
- Westphalien A (assise de Vicoigne) ;
- Namurien (assises de Flines et de Bruilles).

Eratème Ere	Système Période	Série Epoque	Etage	Gradstein & Ogg, 2004	GSSP	Odin, 1995	GSSP	Termes équivalents NW européens + sous-étages		
Paléozoïque	Carbonifère h	Penn- sylvanien	Gzhélien	303.9 ±0.9				Carbonifère supérieur = Silésien (continental) en France	Stéphanien	h5
			Kasimovien	306.5 ±1.0		305 3/5			Westphalien	h4
			Moscovien	311.7 ±1.1		315 ±5			Namurien	h3
			Bashkirien	318.1 ±1.3	⚡					
		Missis- sippien h1-2	Serpukhovien	326.4 ±1.6		325 ±5		Carbonifère inférieur = Dinantien h1-2	Viséen	h2
			Viséen	345.3 ±2.1		345			Tournaisien	h1
			Tournaisien	359.2 ±2.5	⚡	355 3/5	★			
					⚡	365 ±5	★			
	Dévonien d	Supérieur d6-7	Faménien	374.5 ±2.6	⚡	375 ±5	★			
			Frasnien	385.3 ±2.6	⚡	380				
		Moyen d4-5	Givetien	391.8 ±2.7	⚡	390 ±5	★			
			Eifelien	397.5 ±2.7	⚡	400				
		Inférieur d1-3	Emsien	407.0 ±2.8	⚡					
			Pragien	411.2 ±2.8	⚡					
			Lochkovien		⚡					

Illustration 6 – Echelle stratigraphique du Carbonifère (source BRGM, 2006)

Théoriquement, l'épaisseur cumulée des différentes assises qui constituent le Houiller productif pourrait dépasser les 2 500 m. Toutefois, les assises et faisceaux montrent des variations latérales d'épaisseurs parfois considérables, à l'image du Namurien, puissant de 700 m à l'est du Bassin mais qui se réduit à une cinquantaine de mètres à son extrémité ouest (Illustration 8 à Illustration 10).

Le Houiller repose sur le calcaire carbonifère (Dinantien) par l'intermédiaire du « faisceau stérile » qui constitue la partie inférieure de l'assise de Bruilles. La composition lithologique globale du Westphalien serait de :

- 10 % de charbon (en moyenne, on compte une veine d'une certaine importance tous les 20 m environ) ;
- 60 % de « schistes » ;
- 30 % de grès.

Les grès se présentent en bancs d'épaisseur variable mais souvent faible. Leurs ensembles les plus importants se rencontrent à la base du Houiller productif (Grès de Suchemont au niveau du Faisceau de Saint-Georges) et au voisinage des deux niveaux marins les plus représentatifs (Grès de Poissonnière et Grès de Rimbert).

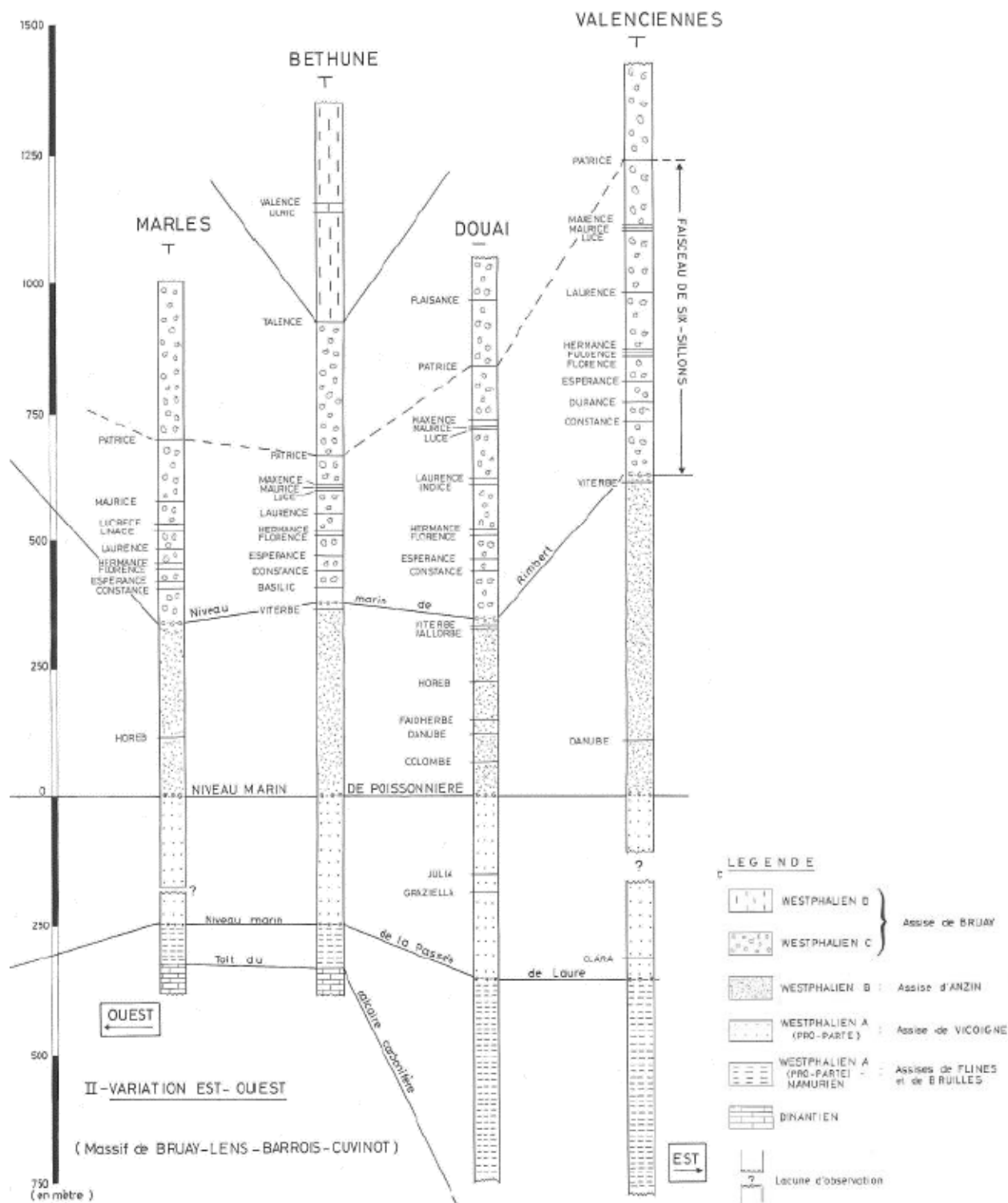


Illustration 7 – Variations d'épaisseur des formations du Houiller (Becq-Giraudon, 1983)

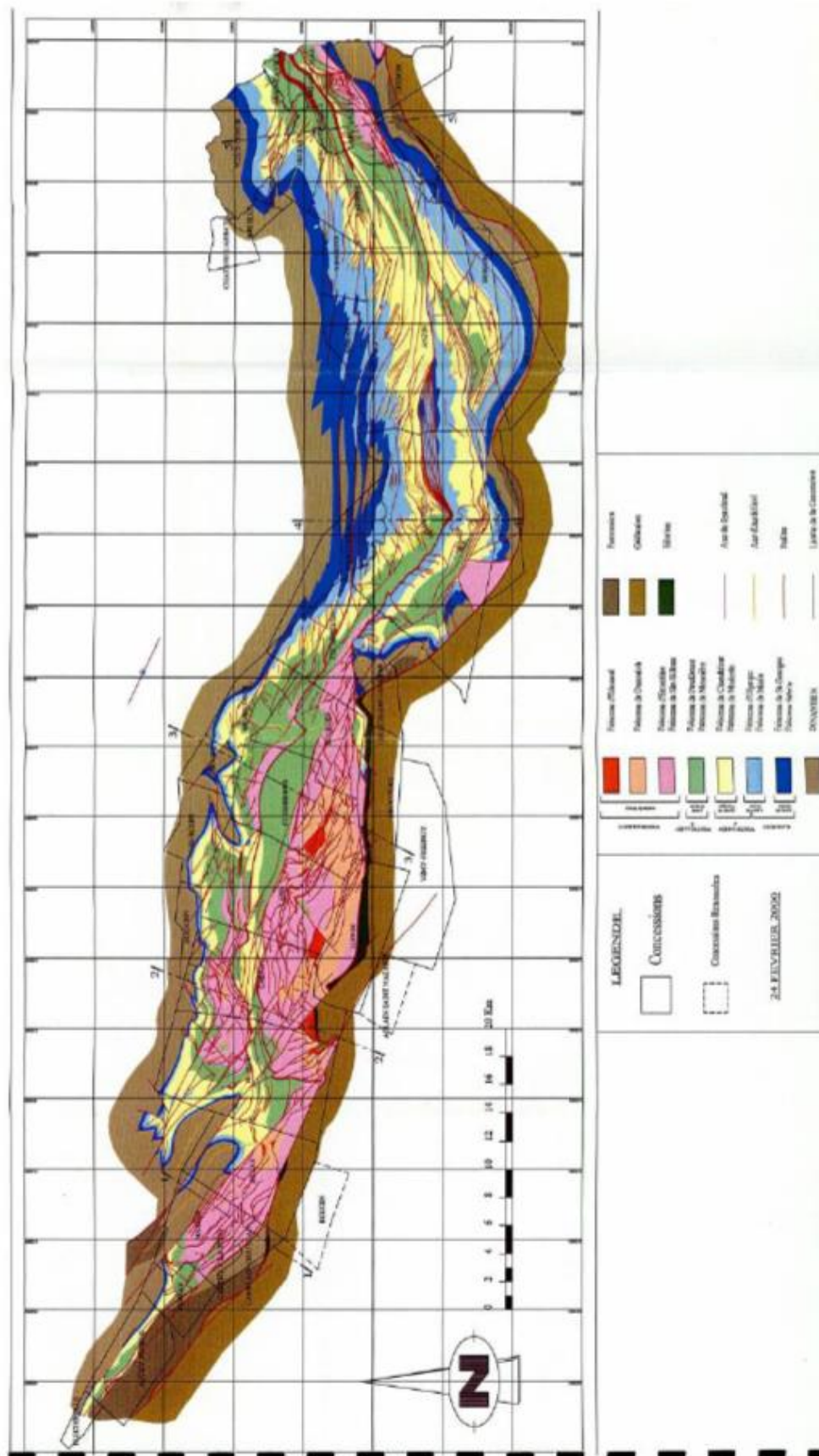


Illustration 8 – Stratigraphie du BHNPC à la cote -300 m NGF (source DPSM)

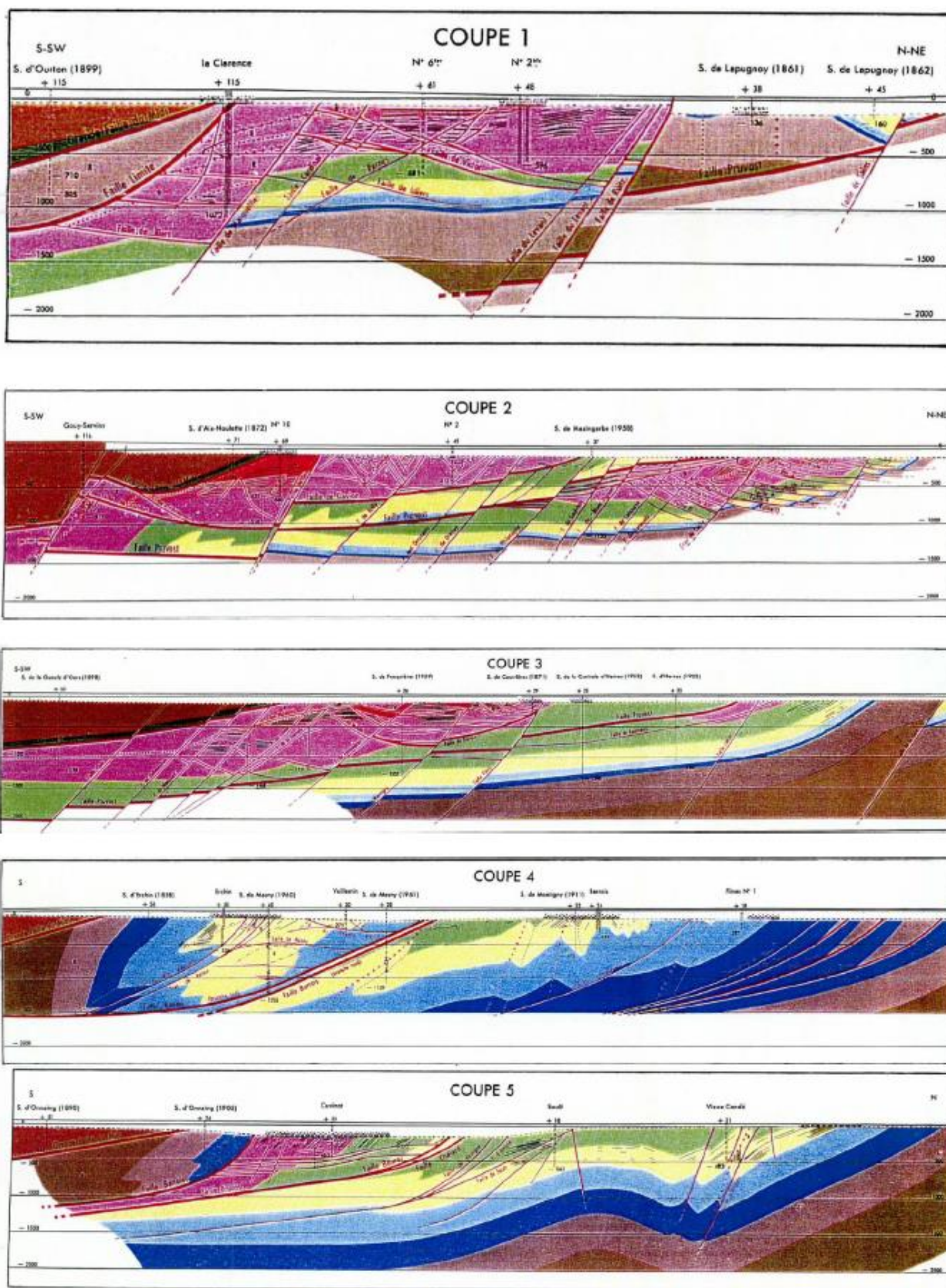


Illustration 9 – Coupes géologiques du BHNPC (source DPSM)

A noter la présence d'évaporites dans le substratum du bassin houiller (Dinantien / Viséen), dans la partie est du bassin, induisant la présence de « puits naturels » et une composition chimique et des températures « anormales » des eaux recueillies dans les travaux miniers avec une teneur élevée en sulfates. Ce chimisme et ces températures anormales ne peuvent s'expliquer, d'après Becq-Giraudon (1983), que par la présence d'une masse d'évaporites sous les formations namuriennes (Illustration 10).

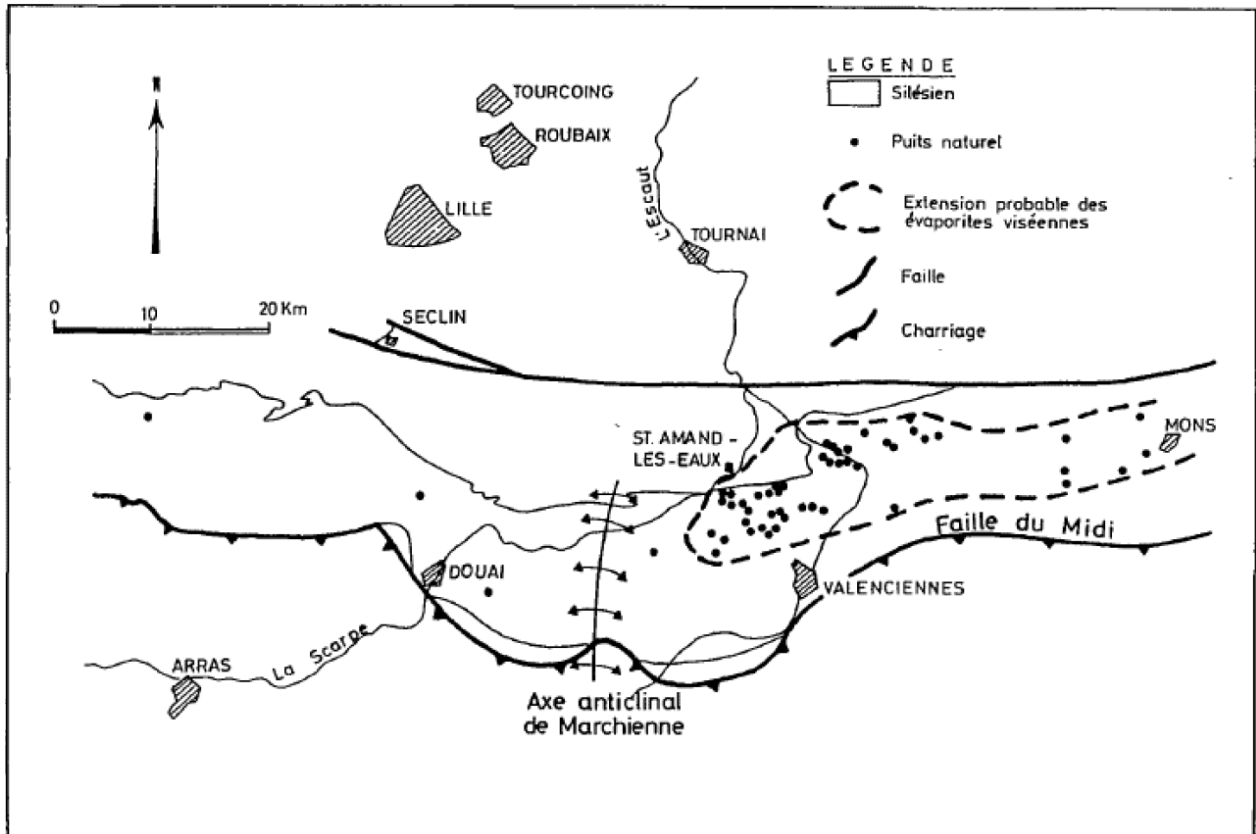


Illustration 10 – Localisation des puits naturels du bassin et extension des évaporites viséennes (Becq-Giraudon, 1983)

3.3. AQUIFERES REGIONAUX

Ce sous-chapitre est en partie repris de Caous et Leplat (1994).

On distingue dans la Région plusieurs aquifères plus ou moins étendus qui intéressent le Bassin minier. Pour la plupart, ils sont formés par les couches perméables des terrains de couverture précédemment décrits et sont donc situés au-dessus du gisement houiller, mais certains autres peuvent se trouver au sein de celui-ci (Grès de Suchemont) ou encore en-dessous (calcaire dinantien). Sur l'illustration 11, figurent les aquifères les plus proches de la surface (alluvions, sables du Thanétien et craie du Séno-Turonien). Ces aquifères sont situées au-dessus du gisement houiller, mais d'autres peuvent se trouver au sein de celui-ci (Grès de Suchemont) ou encore en-dessous (calcaire dinantien).

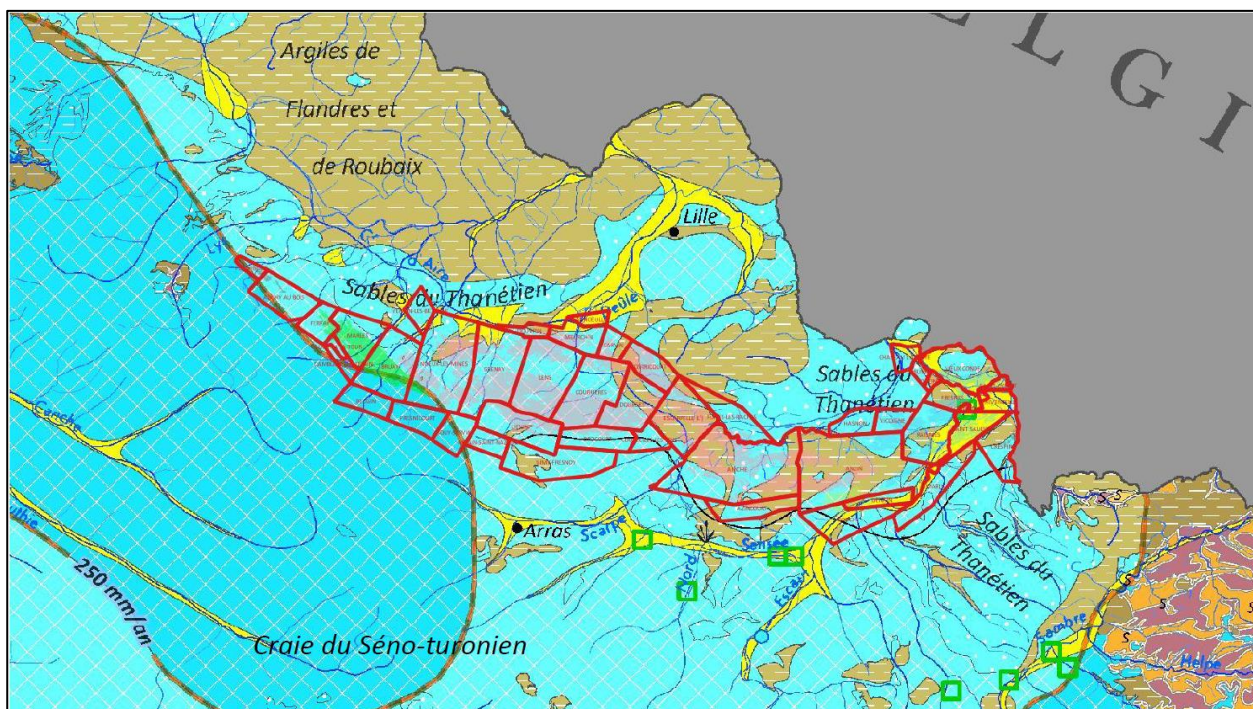


Illustration 11 – Carte hydrogéologique du secteur d'étude (fonds de carte : carte hydrogéologique de la France au 1/1 000 000)

Les principales caractéristiques sont les suivantes (des aquifères les moins profonds vers les plus profonds) (Illustration 12) :

- **Alluvions et zones de marais** : renferment une nappe libre peu profonde, très sensible à la pluviométrie, normalement en équilibre hydrostatique avec les cours d'eau ou canaux voisins et en liaison hydraulique étroite avec la ou les nappes sous-jacentes (craie ou sables tertiaires) ;
- **Sables et tuffeaux landéniens** : contiennent une nappe libre, peu profonde, également en liaison hydraulique avec les cours d'eau drainants (Scarpe, Deûle) ou avec leur nappe alluviale ;
- **Craies séno-turonien** : renferment la nappe la plus importante de la région par sa puissance et son degré d'exploitation. Son mur est assuré par les marnes argileuses (« dièves ») du Turonien inférieur. Libre à l'ouest et au sud du Bassin minier où elle est drainée par les différents cours d'eau du secteur (Clarence, Lawe, Surgeon, Souchiez, Deûle, Scarpe, Escaut), elle devient captive vers le nord, sous les argiles landéniennes (Argile de Louvil) dans le secteur de Béthune. Une carte piézométrique Hautes Eaux et Basses Eaux a été établie par le BRGM en 2009 (Illustration 14) montrant un possible artésianisme. La nappe de la craie est présente sur tout le Bassin minier ;
- **Craies marneuses cénomaniennes** : sont le siège d'une nappe entièrement captive sur l'ensemble du Bassin. En fait, cet aquifère ne présente d'intérêt qu'à l'ouest du Bassin où il se développe nettement et où il est exploité pour l'eau potable (secteurs d'Houdain / Calonne-Ricouart) ;
- **Sables wealdiens** : la nappe captive qu'ils contiennent se cantonne à la région d'Anzin où elle donnait des débits relativement importants lors du creusement des puits de mine (« Torrent d'Anzin ») ;

- **Grès du gisement** : ceux-ci sont particulièrement développés vers la base de la série houillère où ils peuvent constituer des masses puissantes de plusieurs dizaines de mètres. Ils sont connus, entre autres, sous les noms de « Grès de Flines », « Grès de Suchemont », etc. Les fissures de ces roches contiennent ou ont contenu une eau qui en principe est « fossile » et les réservoirs correspondants ne sont, de fait, plus réalimentés. Seuls les Grès de Suchemont, grâce à leurs affleurements situés en Belgique, possèdent une possibilité de réalimentation naturelle ;
- **Calcaire carbonifère** : d'âge dinantien, ce calcaire s'étend sous le gisement houiller et se développe notamment vers le nord, jusqu'en Belgique où il affleure (secteur est de Tournai). Sa fissuration et sa karstification en font un important aquifère, bien connu en particulier sous les agglomérations de Roubaix / Tourcoing ainsi que dans la région de Saint-Amand-les-Eaux et le Tournaisis, en Belgique, où la nappe captive qu'il renferme est intensivement exploitée depuis de nombreuses années. A l'aplomb du bassin houiller, mais principalement en bordure nord, cet aquifère s'est révélé également productif à l'occasion de travaux miniers l'ayant atteint malencontreusement (Meurchin, Vendin-les-Béthune). Une carte piézométrique de la nappe du Carbonifère, réalisée en 2010 (Illustration 14), est disponible mais sa limite d'extension au sud est située au nord du bassin. Dans le nord du valenciennois, le tracé des courbes piézométriques tend à montrer l'existence possible d'échanges depuis le Carbonifère vers les terrains dévonosiluriens plus au sud, voire également vers le Houiller.

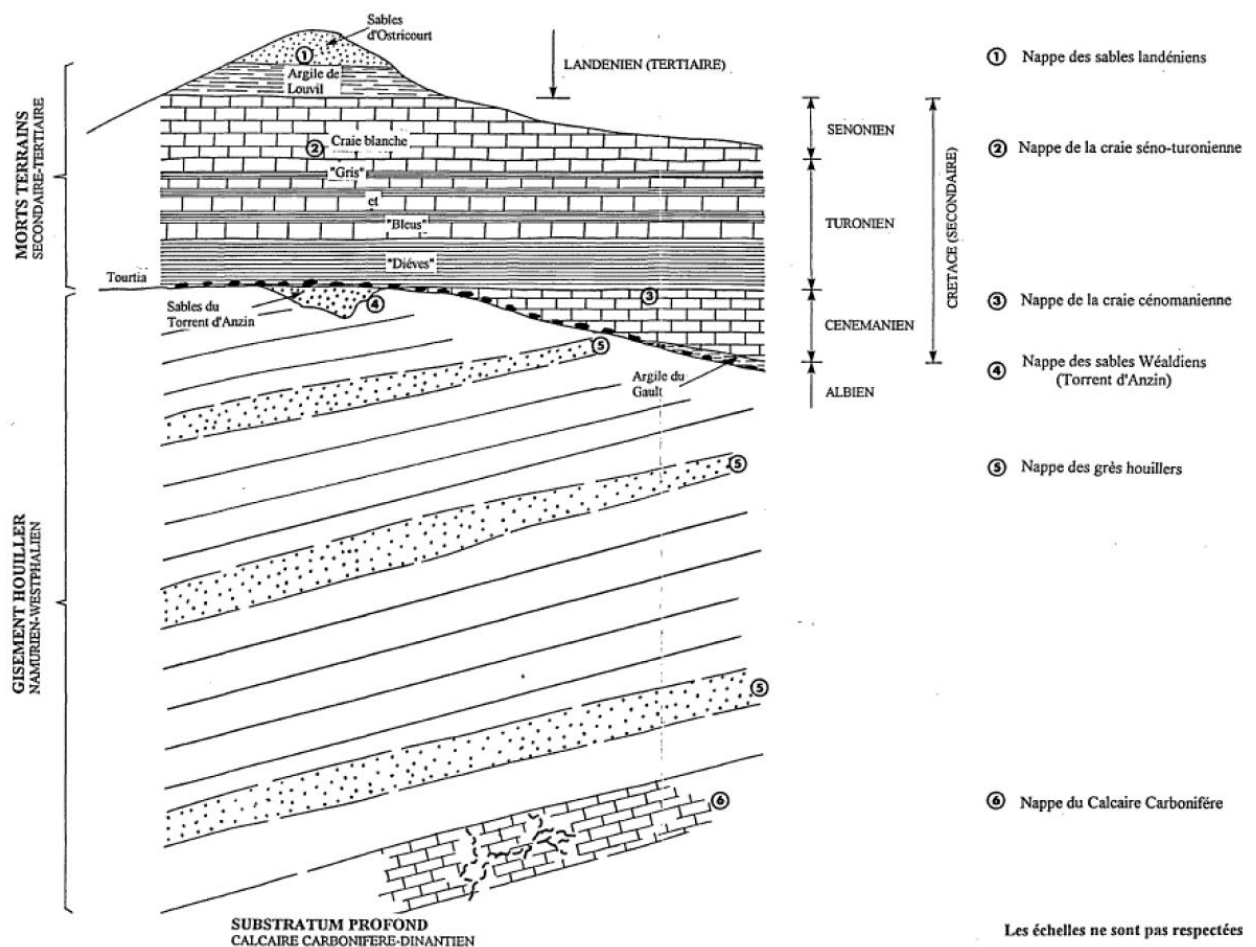


Illustration 12 – Représentation schématique des aquifères du bassin houiller du Nord – Pas-de-Calais (Caous et Leplat, 1994)

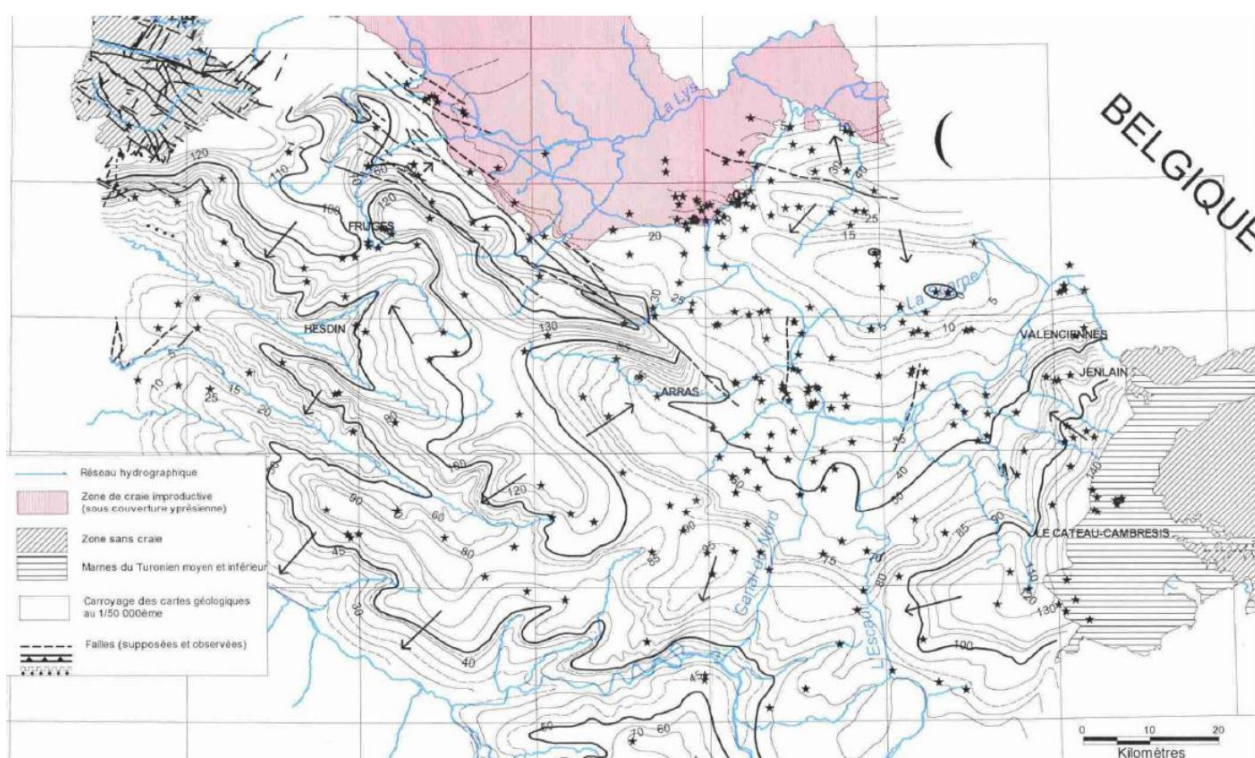
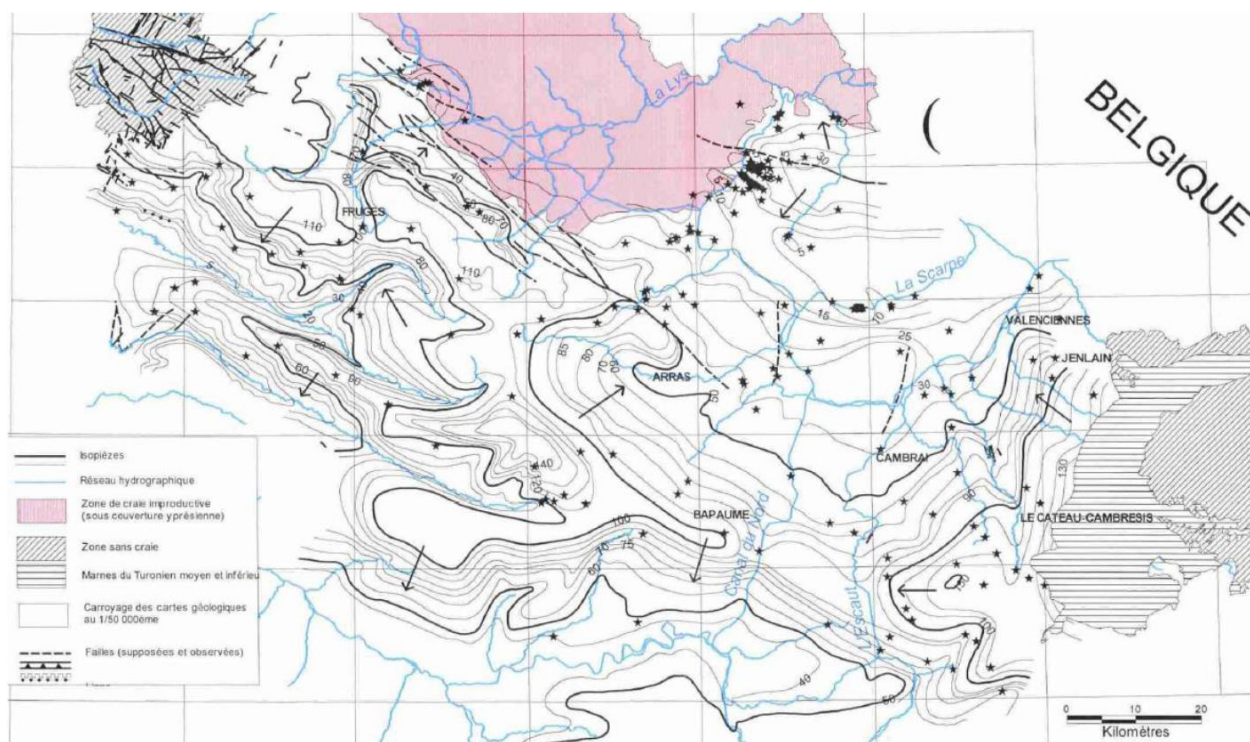


Illustration 13 – Carte piézométrique de la nappe de la craie en NPC (en haut : Hautes Eaux – mai 2009 ; en bas : Basses Eaux – octobre 2009) (Cardin et al., 2009)

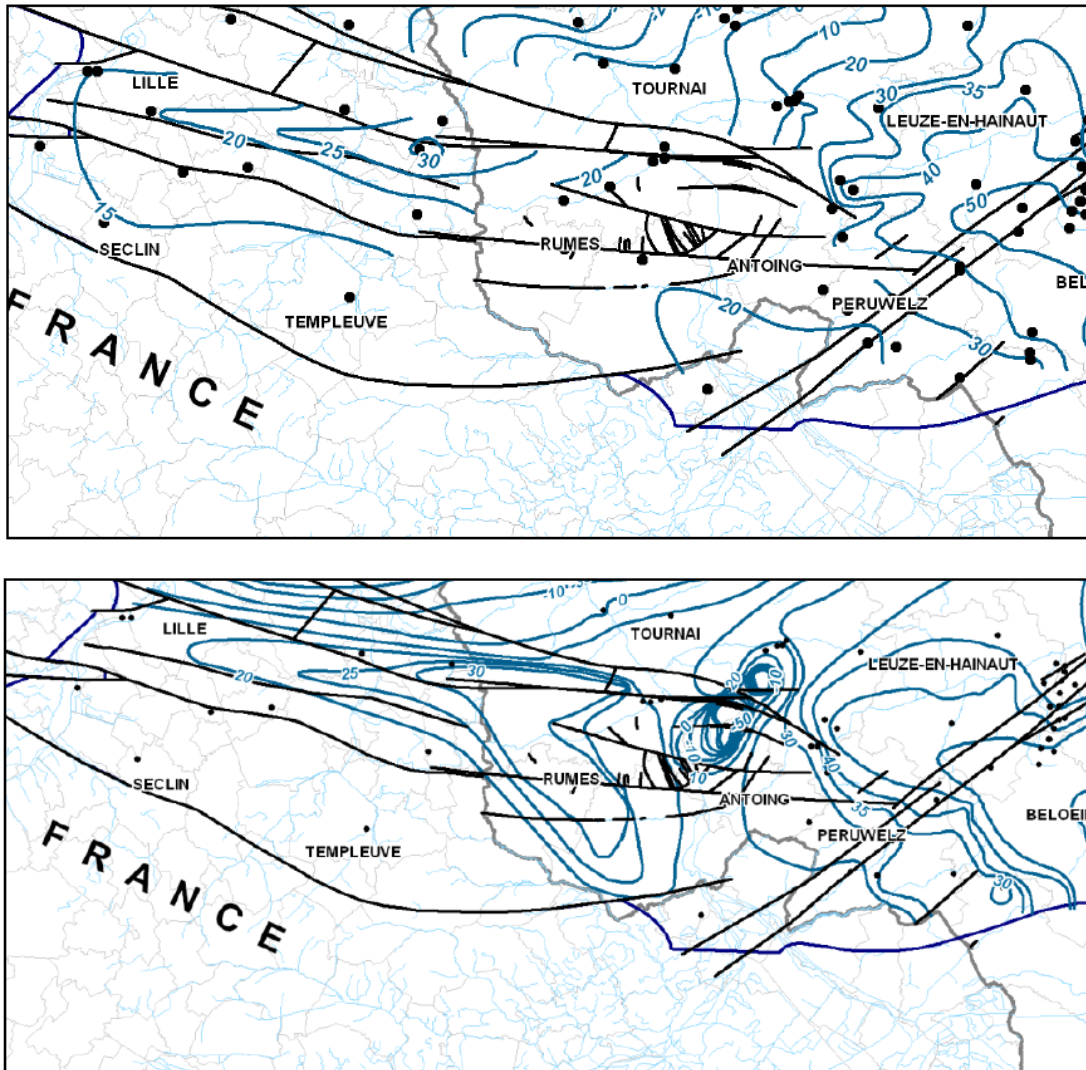


Illustration 14 – Extrait de la carte piézométrique de la nappe des Calcaires du Carbonifère (en haut : juillet 2010 ; en bas : octobre 2010) (Crastes de Paulet et al., 2010)

L'impact de l'activité minière sur le contexte hydrogéologique a également été étudié dans les rapports BURGEAP (1999) :

Série géologique du secteur étudié se caractérise par les terrains suivants (du haut vers le bas) :

- Les Argiles de Flandres (ou Argiles d'Orchies), de l'Yprésien inférieur. Présentes uniquement dans la partie nord du secteur d'étude, elles s'épaississent rapidement vers le nord pour atteindre une centaine de mètres. Elles sont plastiques ;
- Les Sables d'Ostricourt (Landénien supérieur) : d'une épaisseur moyenne de 10 à 15 m, ils renferment une nappe peu productive, qui est en relation directe avec le réseau hydrographique de surface quand ils sont à l'affleurement ;
- Les Argiles de Louvil (Landénien inférieur) : épais de 10 à 15 m, ce niveau est constitué de sable, tuffeau et argile sableuse. Elles forment un écran semi-perméable entre les sables d'Ostricourt et la craie. Leur épaisseur est cependant variable. Il existe une lacune dans les argiles de Louvil au nord de Choques. A cet endroit, les sables d'Ostricourt reposent directement sur la craie ;
- La Craie du Sénonien et du Turonien supérieur. Son épaisseur est de l'ordre de 50 m. Il s'agit d'une craie blanche à silex. Elle est affleurante au droit du Bassin minier et passe

sous couverture des Argiles de Louvil au nord du Bassin minier. Le pendage général des couches à une direction NNE, ce qui se traduit par un ennoyage de la craie sous les terrains tertiaires. L'ennoyage est accentué par l'existence de nombreuses failles et diaclases, de direction armoricaine NW-SE (en particulier les failles de Pernes et de Marqueuffles), relayées par des failles de direction varisque. Ce système tectonique a entraîné des effondrements en série avec la formation de gradins s'approfondissant du sud au nord. La présence de cette intense fissuration a en particulier été mise en évidence par les travaux de reconnaissances réalisés à l'est et à l'ouest de Béthune entre 1984 et 1996. Cette structure faillée engendre une structure d'allure anticlinale à l'est de Béthune, qui entraîne l'affleurement de la craie sur plus de 1,5 km au droit du canal de Béthune ;

- Les Marnes du Turonien moyen. Désignées sous le nom de « bleus » par les mineurs en raison de leur teinte parfois bleuâtre, leur épaisseur moyenne est d'une quarantaine de mètres et leur perméabilité très faible ;
- La Craie du Cénomanien : la partie supérieure est constituée de marnes crayeuses ou « dièves blanches », la partie médiane de marnes grises ou verdâtre à glauconie, la partie inférieure par un conglomérat à ciment calcaire, le « tourtia » ;
- Les sables et argiles de l'Albien (Argiles de Gault) ;
- Les terrains primaires du Dévonien et du Silurien.

Nappe des sables du Landénien : l'aquifère qu'ils constituent est une part non négligeable du point de vue du fonctionnement hydraulique de l'ensemble du système aquifère. Il constitue en effet une sorte d'éponge qui stocke l'eau et peut la restituer avec un délai par rapport à la pluie. Le niveau de la nappe des sables d'Ostricourt varie très peu.

Réservoir de la craie (aquifère régional principal) : la craie, libre au droit du Bassin minier, (c'est-à-dire directement en contact avec la surface), plonge vers le nord sous la couverture tertiaire des Argiles de Louvil et des Sables d'Ostricourt. De ce fait, dans le secteur nord, la nappe de la craie devient captive sous les Argiles de Louvil, pratiquement dès que cette couverture existe. La charge de la nappe de la craie et la faible altitude du terrain permet, en particulier dans le secteur ouest de Béthune, l'existence du phénomène d'artésianisme. Dans ce secteur-là, un forage qui traverse les Argiles de Louvil et capte la nappe de la craie est artésien.

L'évolution de l'hydrogéologie dans le Bassin minier charbonnier du Nord-Pas-de-Calais suite à l'arrêt des exploitations a fait l'objet d'une étude (BURGEAP-ISSEP-IFP, 1999) d'où il ressort que :

- L'ennoyage complet du massif de terrains houillers sera très lent, l'ensemble des couches primaires n'étant totalement saturé en eau qu'au voisinage de l'an 2150 ;
- La poursuite de la montée des eaux de l'ensemble des nappes affectées, jusqu'à un niveau de charge hydraulique pouvant être qualifié de « stabilisé », demandera encore un délai supplémentaire d'environ 150 ans : la variation du niveau piézométrique calculée pour l'an 2300 sera, dans le Houiller, inférieure à 1 cm par an sur tout le domaine ;
- Il n'existe aucun risque que ce rééquilibrage hydraulique très lent entraîne, dans les aquifères superficiels, la création d'émergences nouvelles ou encore de dégradations, même locales, de la qualité de leurs eaux. Même dans les zones très circonscrites où un apport d'eaux, du Houiller vers la nappe de la Craie, se produira, les débits en jeu seraient trop faibles pour que, compte tenu de la dilution dans la nappe de la Craie, l'impact sur la qualité de ses eaux puisse être perceptible ;
- Le risque de migration de grisou, à travers la couverture de dièves argileuses qui coiffent les terrains houillers, ne peut exister si celles-ci ont conservé leur intégrité. Dans les zones

singulières où cette condition n'est pas remplie (présence de failles ou de puits de mine), l'analyse des risques montre que :

- La migration à travers les rares failles qui atteignent la surface du sol est très improbable pour la double raison que celles-ci sont « fermées » pour la plupart d'entre elles et, de surcroît, soumises à la pression hydrostatique de la nappe de la craie, presque partout supérieure à la pression de gaz du Houiller ;
- La seule voie de migration du gaz vers l'atmosphère est représentée par les puits de mine (remblayés ou ouverts) et par les sondages de décompression mis en place par Charbonnages de France ; il s'agit d'un dispositif qui permet de contrôler et de gérer la pression du réservoir de gaz. Ce dispositif devra être maintenu en activité jusqu'à l'ennoyage final du Houiller et devra, si nécessaire, être densifié dans les secteurs non maîtrisés par les ouvrages existants.

4. Méthodologie de réalisation de la carte réglementaire

4.1. MOTIVATIONS ET ADAPTATION REGIONALE

Au regard des éléments présentés dans le chapitre 2, une déclinaison régionale de la cartographie réglementaire a été réalisée. Les paragraphes suivants présentent les approches suivies pour la cartographie des différents aléas.

4.2. METHODOLOGIE APPLIQUEE

La réalisation de la carte régionale suit la méthode dictée par le guide d'élaboration de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance mise au point par le MEEM (2015), et prend en considération les caractéristiques du sous-sol et des phénomènes redoutés pouvant être rencontrés lors de travaux de forage des échangeurs géothermiques de minime importance.

Le travail à l'échelle régionale doit permettre de prendre en compte la « relative bonne connaissance » du sous-sol du Bassin minier Nord-Pas-de-Calais ainsi que ses spécificités (nombreuses bases de données et études, suivi de la zone par l'UTAM – Unité Territoriale Après Mine – Nord). La cartographie régionale est réalisée sur le territoire du Bassin minier défini sur 256 communes (missionbassinminier.org ; Annexe 1). La grille de précision de la carte révisée à l'échelle du Bassin minier est la maille de 500 x 500 m, à l'identique de la carte nationale.

Les phénomènes géologiques, hydrogéologiques et environnementaux (de type affaissement, mouvement de terrain, pollutions...) susceptibles d'être rencontrés par la réalisation d'un projet de géothermie de minime importance ont été identifiés. Pour chaque phénomène :

- Le phénomène redouté est décrit et caractérisé par des niveaux d'aléas (faible, moyen, fort) lorsque les cartes d'aléas existent ou en termes de probabilité d'occurrence (susceptibilité) en l'absence d'une carte de l'aléa ;
- Une valeur est attribuée à chaque niveau ;
- Un facteur aggravant est ensuite attribué en fonction de son impact potentiel, ce facteur pouvant être différent selon la technique d'exploitation géothermique employée : l'échangeur fermé ou l'échangeur ouvert ;
- La disponibilité des données utilisées est précisée.

La carte révisée, appliquée au territoire du Bassin minier Nord-Pas-de-Calais, se compose de six cartes, car elle distingue pour chaque type d'échangeur (doublets sur nappe et SVG) trois tranches de profondeur : 10-50 m, 10-100 m et 10-200 m.

La méthodologie d'élaboration de la carte des zones utilise une analyse multicritère (c'est-à-dire basée sur la superposition de plusieurs phénomènes). Les cartes ont été réalisées à l'aide d'un Système d'Information Géographique (SIG). Chacun des phénomènes identifiés est représenté par une couche spécifique au sein de l'outil SIG.

Les phénomènes identifiés, sur le territoire du Bassin minier, sont :

- Phénomène d'affaissement/surrection lié aux formations évaporitiques ;

- Phénomène d'affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines) ;
- Phénomène d'affaissement/effondrement lié aux cavités minières ;
- Phénomène de mouvement de terrain (glissement) ;
- Phénomène de pollution des sols et des nappes souterraines ;
- Phénomène lié à l'artésianisme ;
- Phénomène de mise en communication d'aquifères ;
- Phénomène de remontée de nappe ;
- Phénomène lié à la présence et l'émission de gaz de mine (grisou).

Le phénomène « Présence et émission de gaz de mine (grisou) » a été ajouté à la liste des phénomènes redoutés, jugé comme pertinent du fait du territoire de la zone d'étude, spécifique au Bassin minier (d'un point de vue technique, il a été intégré par addition au phénomène « Affaissement/effondrement lié aux cavités minières », l'outil ne pouvant accepter de nouveau champ à l'heure actuelle).

Il est réalisé une carte d'aléa/susceptibilité pour chaque phénomène : ces cartes, établies à l'aide de l'outil SIG et qui, par la suite, seront appelées « couches », sont constituées de mailles auxquelles sont affectés, pour chaque phénomène, des niveaux d'aléa/susceptibilité. Ces niveaux d'aléa/susceptibilité caractérisent la probabilité qu'ont les phénomènes étudiés de se produire lorsqu'il y est procédé à des travaux de forage GMI.

Une valeur de pondération, fonction de l'intensité des phénomènes redoutés pour chaque type d'échangeur (SGV ou doublet sur nappe) et appelée facteur aggravant, a ensuite été attribuée à chacun des phénomènes identifiés.

Le tableau de synthèse Bassin minier du Nord-Pas-de-Calais avec les cotations proposées à chaque phénomène décrit dans l'analyse multicritère est présenté ci-après, par type d'échangeur (Tableau 1). Ce tableau est basé sur les recommandations du guide d'élaboration de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance (version 2015) pour l'établissement des cartes révisées à l'échelle locale.

Phénomènes redoutés	Niveaux d'aléa/ susceptibilité du phénomène	Facteur aggravant (doublet sur nappe)	Facteur aggravant (SGV)
Affaissement/surrection liés aux niveaux évaporitiques	0/1	6	10
Affaissement/effondrement lié aux cavités souterraines (hors mines)	0/1/2/3/5/7	2	2
Affaissement/effondrement lié aux cavités minières	0/1/3/5/7	2	2
Mouvements de terrain (ou glissements de terrain)	0/1	2	2
Pollution des sols et/ou des nappes souterraines	0/1/4/6	3	3
Artésianisme	0/1/3/4/7	2	4
Mise en communication d'aquifères	0/1	4	4
Remontée de nappe	0/1	2	0
Présence et émission de gaz de mine	0/4/7/10	2	2

Tableau 1 – Cotation multicritère des phénomènes redoutés et des facteurs aggravants utilisés pour la cartographie réglementaire régionale.

Les cartes finales sont obtenues :

- En pondérant chaque couche par le facteur aggravant associé au phénomène dont elle cartographie le niveau d'aléa/susceptibilité ;
- Puis en superposant ces différentes couches pondérées.

Les cartes finales ainsi obtenues sont composées de zones vertes, orange et rouges. La carte distingue les zones selon l'importance des enjeux au regard des intérêts mentionnés aux articles L. 161-1 du Code minier :

- Les zones « vertes » dans lesquelles les activités géothermiques de minime importance sont réputées ne pas présenter de dangers et inconvénients graves ;
- Les zones « orange » dans lesquelles les activités géothermiques de minime importance ne sont pas réputées présenter de dangers et inconvénients graves et dans lesquelles est exigée la production de l'attestation prévue à l'article 22-2 du décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 modifié ;

- Les zones « rouges » dans lesquelles la réalisation d'ouvrages de géothermie est réputée présenter des dangers et inconvénients graves et ne peut pas bénéficier du régime de la minime importance.

5. Fiches des phénomènes redoutés

5.1. PHENOMENE « AFFAISSEMENT/SURRECTION LIE AUX FORMATIONS EVAPORITIQUES »

5.1.1. Description du phénomène et occurrences

Il s'agit d'un affaissement, voire d'un effondrement ou d'une surrection des terrains de surface, lié soit à la dissolution d'un niveau d'évaporite, soit au gonflement de ce niveau par hydratation en cas de présence d'anhydrite. Ces phénomènes sont provoqués par la mise en communication d'aquifères superficiels ou profonds avec les horizons évaporitiques à la faveur d'ouvrages souterrains dont l'étanchéification se révélerait problématique.

5.1.2. Qualification du phénomène

Ce phénomène est observé actuellement en Alsace, Lorraine et Ile-de-France. Il n'existe pas de cartographie des aléas liés à ce phénomène ni à l'échelle nationale, ni sur la région du Bassin minier Nord-Pas-de-Calais. En l'absence de cartographie, ces phénomènes sont qualifiés en fonction de leur susceptibilité (probabilité d'occurrence).

5.1.3. Données utilisées pour le traitement

Les données sur les évaporites proviennent des notices des cartes géologiques au 1/50 000ème et d'études du BRGM des années 1980. Les formations géologiques susceptibles de contenir des faciès évaporitiques ont été recherchées sur l'ensemble de la région. Ils sont peu représentés. Les faciès évaporitiques ont été identifiés à l'est de la région des Hauts-de-France.

Une formation a été identifiée comme susceptible de contenir des évaporites : Il s'agit du Calcaire carbonifère, dans lequel des lits d'anhydrite ont été rencontrés dans plusieurs sondages réalisés du côté belge de la frontière. Leur présence est mise en cause dans la formation des « puits naturels » dans la région de Valenciennes ((partie NE) : données études 1983-98 (niveaux d'anhydrite reconnus en sondages côté Belgique)).

Une hypothèse de formation des puits naturels directement liée à la présence d'évaporites est postulée dans les travaux de L. Licour (2014) : la dissolution des calcaires génère des effondrements localisés, empêchés de se propager par la couche d'anhydrite. L'anhydrite devient soluble au contact avec les calcaires, mais subit une déformation ductile, donnant lieu à des cuvettes (Illustration 15).

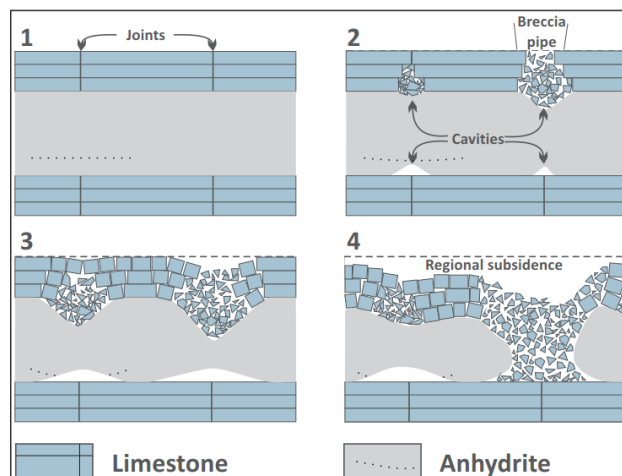


Illustration 15 – Hypothèse de formations des puits naturels liés aux évaporites (« breccia pipes ») (source : Licour 2014).

Les remontées d'eau chaude sulfatée à Saint-Amand-les-Eaux semblent confirmer une possible présence d'anhydrite profonde sur la zone nord-est du Bassin minier.

Le phénomène ayant été moins étudié en France, il a été décidé de considérer tous les calcaires du Viséen comme pouvant potentiellement renfermer des couches d'anhydrites dans la partie est de la zone d'étude (celle où les puits naturels se manifestent en continuité de ceux documentés en Belgique). Il s'agit globalement du périmètre délimité par Becq-Giraudon (1983).

Toutefois, la plupart de ces calcaires sont très profonds. Ils sont à plus de 200 mètres de profondeur et sont donc localisés au-delà de la tranche de profondeur étudiée par la méthodologie GMI. Le tracé des isohypses du calcaire carbonifère (Bosch et al. 1981) a été utilisé comme source pour évaluer dans quelles zones un sondage pouvait être amené à rencontrer les formations calcaires du Viséen (Illustration 16). Les informations et données de la Banque du Sous-Sol (BSS) confirment globalement les isohypses, mais le nombre très faible de sondages qui atteignent les calcaires n'a pas permis de confirmer ou infirmer la présence d'anhydrite (Illustration 17).

De ce fait, les hypothèses de cartographie exprimées ci-dessus sont conservatrices, dans le sens de la sécurité. Elles pourront être revues si de nouveaux forages, indiquant par exemple l'absence d'évaporite, sont réalisés dans la zone indiquée ci-dessus.

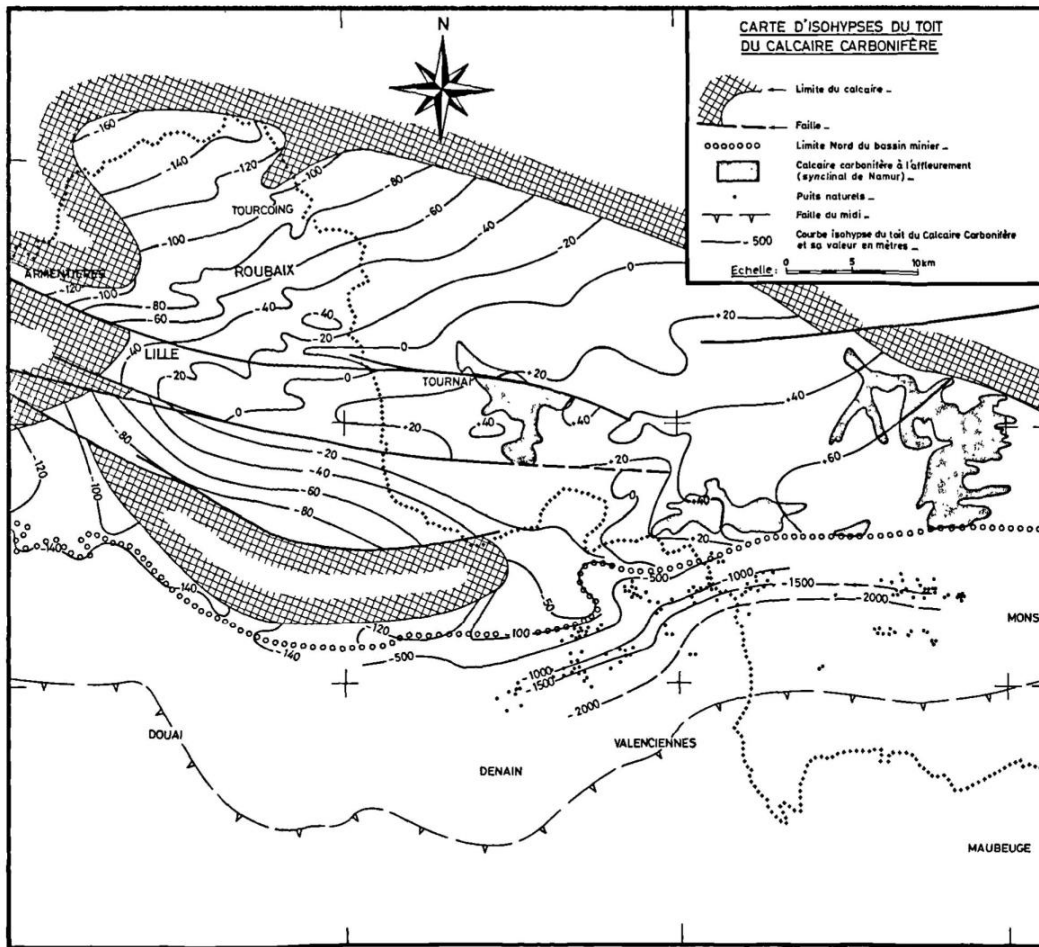


Illustration 16 – Isohypses du Calcaire carbonifère (source : Bosch et al. 1981).

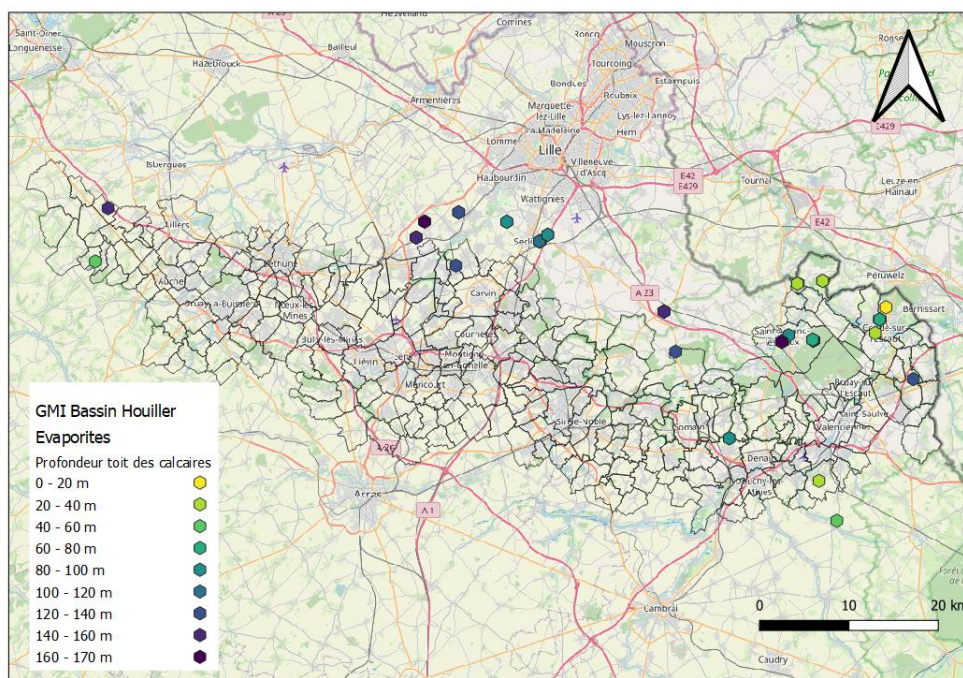


Illustration 17 – Extraction des sondages de la Banque du Sous-Sol (BSS) avec log stratigraphique, classée selon la profondeur du toit des calcaires viséens (source : Banque des Données du Sous-Sol). Fond de carte : OpenStreetMap

5.1.4. Cotation et cartographie du phénomène « affaissement/surrection lié aux formations évaporitiques »

La susceptibilité du phénomène « affaissement/surrection lié aux niveaux évaporitiques » a été estimée pour les trois gammes de profondeur : 10-50 m, 10-100 m et 10-200 m. Le guide d'élaboration de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance (version 2015) propose 4 niveaux d'aléa pour les cartes révisées à une échelle plus locale (Tableau 2) :

Susceptibilité	Niveau d'aléa	Définition
Nulle	0	Formation ne pouvant pas contenir d'horizons évaporitiques.
Faible	1	Pas d'horizons évaporitiques connus mais formation susceptible d'en contenir.
Moyenne	5	Présence avérée d'un ou plusieurs horizons évaporitiques en faible quantité, définie soit à partir d'informations provenant de sondages ou figurant dans les notices géologiques, soit à dire d'expert sur la base du retour d'expérience.
Forte	7	Présence avérée d'un ou plusieurs horizons évaporitiques en quantité importante, définie soit à partir d'informations provenant de sondages ou figurant dans les notices de cartes géologiques, soit à dire d'expert sur la base du retour d'expérience.

Tableau 2 - Niveaux du phénomène « affaissement/surrection lié aux niveaux évaporitiques » proposés pour les cartes révisées à l'échelle locale régionale par le guide d'élaboration de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance (version 2015)

Compte-tenu du contexte naturel du Bassin minier Nord-Pas-de-Calais vis-à-vis des évaporites, 2 niveaux de susceptibilité ont été retenus :

- **Susceptibilité faible** (« 1 ») : formation susceptible de contenir des horizons évaporitiques (cristallisations gypseuses, lits d'anhydrite) ;
- **Susceptibilité nulle** (« 0 ») : formation ne pouvant pas contenir des horizons évaporitiques.

Le niveau de susceptibilité faible (niveau d'aléa « 1 ») est appliqué à la formation des calcaires du Visséen susceptible d'être traversée par des sondages à l'est de la zone d'étude, tandis que le reste de la zone est classée en susceptibilité nulle (niveau d'aléa « 0 »). L'illustration 18 présente les couches obtenues pour le phénomène « affaissement/surrection lié aux formations évaporitiques » : chacune de ces couches est associée à l'une des trois tranches de profondeur étudiées (10 – 50 m, 10 – 100 m et 10 – 200 m).

- Pour la tranche de profondeur 10-50 m, 225 mailles sont affectées d'un niveau d'aléa faible, soit un environ 2,9 % de la surface totale.
- Pour la tranche de profondeur 10-100 m, 322 mailles sont affectées d'un niveau d'aléa faible, soit un environ 4,2 % de la surface totale.
- Pour la tranche de profondeur 10-200 m, 346 mailles sont affectées d'un niveau d'aléa faible, soit un environ 4,5 % de la surface totale.

Tranche de profondeur	Nombre de mailles impactées sur les 7759 mailles de la zone d'étude	% de la surface impactée de la zone d'étude
10 – 50 m	225	2.90%
10 – 100 m	322	4.20%
10 – 200 m	346	4,50%

Tableau 3 - Impact du phénomène « affaissement/surrection lié aux formations évaporitiques » : calcul du nombre de mailles auxquelles il a été affecté une susceptibilité faible

Le facteur aggravant associé à la technique des doublets sur nappe est important (6). Il l'est encore plus pour la technique des SGV, technique pour laquelle il vaut 10.

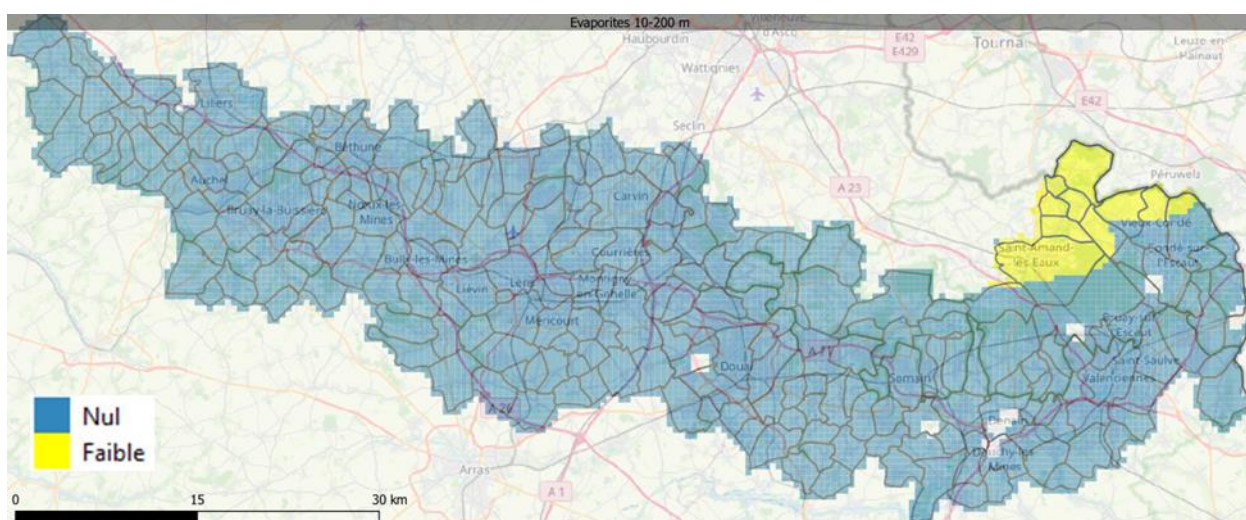
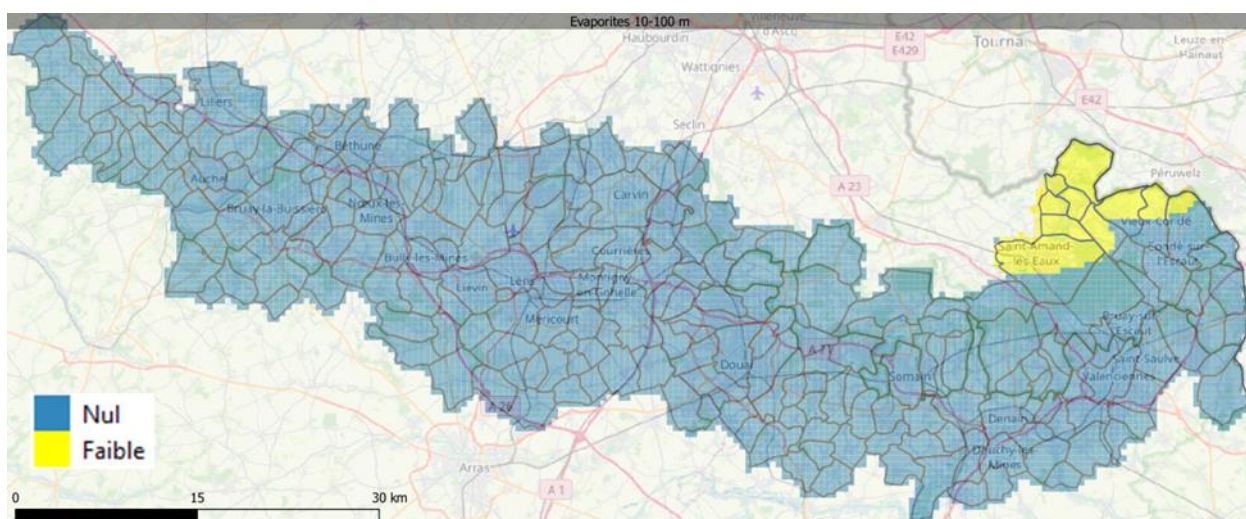
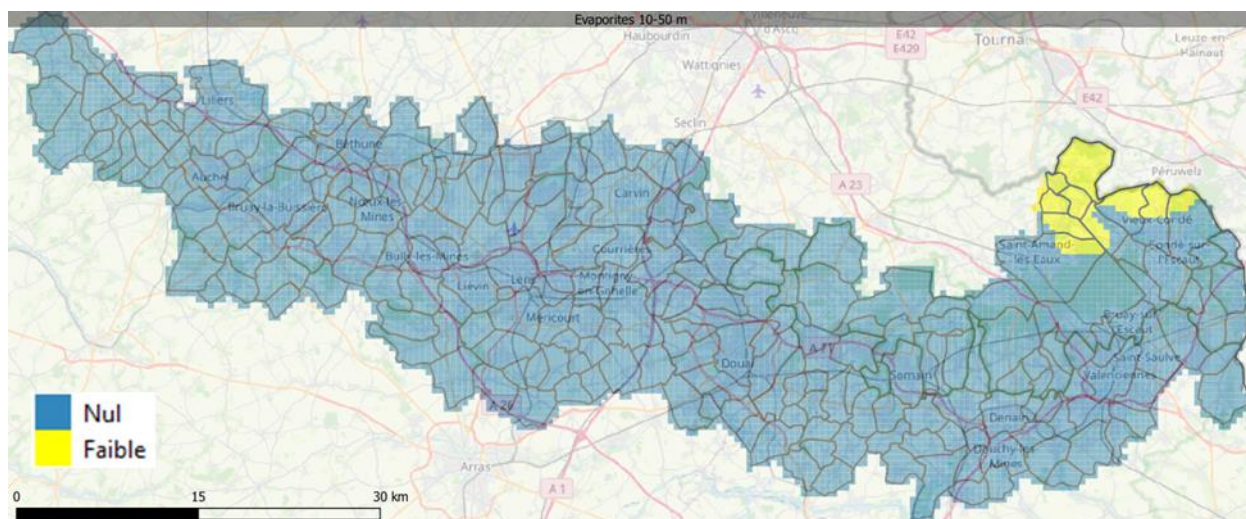


Illustration 18 – Niveaux d'aléa pour le phénomène « affaissement/surrection lié aux formations évaporitiques » pour les trois tranches de profondeur.

5.2. PHENOMENE « AFFAISSEMENT/EFFONDREMENT LIE AUX CAVITES (HORS MINES) »

5.2.1. Description du phénomène et occurrences

Ces phénomènes d'affaissement ou d'effondrement peuvent se produire naturellement mais peuvent aussi être provoqués par la mise en place d'un dispositif de géothermie de minime importance. Ainsi, ces phénomènes d'affaissement ou d'effondrement pourraient être provoqués, soit par la foration au cours de la mise en place du dispositif, soit, sur toute la durée de vie de l'ouvrage, par la mise en communication d'eau de surface ou d'aquifères superficiels ou profonds avec les cavités à la faveur d'ouvrages souterrains dont l'étanchéification se révélerait problématique dans ce contexte. En termes d'occurrences, un exemple de désordre liés à une cavité a été identifié à Bromley en Grande-Bretagne. Une formation sableuse s'est progressivement écoulee dans une cavité karstique sous-jacente. Il en a résulté un affaissement et des dégâts importants sur le bâti. Ainsi, les cavités de dissolution des réseaux anciens (paléokarsts³), potentiellement remplies de matériaux sans cohérence, sont-elles concernées par le phénomène d'infiltration et de soutirage. Sur le territoire du Bassin minier, cependant, aucune donnée n'indique la présence de telles formations. Aussi, plutôt que les formations karstiques, ce sont les cavités anthropiques (par exemple, les carrières de craie) qui sont à prendre en compte dans l'élaboration de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance.

En effet, sur le territoire du bassin minier, la couche de la craie a été exploitée pour en extraire des matériaux de construction : cette exploitation s'est réalisée en creusant le sol, en y façonnant des cavités. Le recensement de ces cavités a été mené sur l'ensemble du département du Nord par le conseil départemental (jusqu'en 2006). Sur la base de ces données, une carte d'aléas a été élaborée sur le territoire du Valenciennois. La couche de la craie, toutefois, et malgré les recensements réalisés dans le département du Nord, est susceptible de contenir des cavités non encore identifiées et localisées, ce dont il est tenu compte dans l'élaboration des cartes de susceptibilité du phénomène.

5.2.2. Qualification du phénomène

Il n'existe pas, actuellement, de carte de ce phénomène à l'échelle nationale.

Il existe une carte de ce phénomène (avec différents niveaux d'aléa) sur le territoire du Valenciennois. Cette carte est issue du plan de prévision des risques mouvement de terrain (PPRMT) du Valenciennois (DDTM59 (2008 – 2013)) et s'étend sur 5 communes : Anzin, Marly, Petite-Forêt, Saint-Saulve, Valenciennes. Ces communes recouvrent 213 mailles. Sur ces communes, la qualification de l'aléa du phénomène est alors établie ainsi, pour chaque maille :

- **Niveau fort** : quand la maille carrée de 500 m sur 500 m intersecte une zone d'aléa fort, c'est-à-dire une zone potentiellement concernée par des effondrements localisés, généralisés ou en masse ;
- **Niveau moyen** : quand la maille carrée de 500 m sur 500 m intersecte une zone d'aléa moyen, c'est-à-dire une zone potentiellement concernée par un aléa affaissement progressif ;

³ Paléokarst : karst ancien dans lequel il n'y a plus de circulation d'eau.

- **Niveau faible** : quand la maille carrée de 500 m sur 500 m n'intersecte pas de zone d'aléa moyen, mais qu'elle intersecte une zone d'aléa faible, c'est-à-dire une zone soit concernée par des cavités mais qui ne peuvent engendrer en surface que des mouvements résiduels de faible ampleur, soit sans cavité connue mais qui est susceptible d'en contenir (exemple d'une formation carbonatée).
- **Niveau nul** : quand la maille carrée de 500 m sur 500 m n'intersecte aucune zone susceptible de contenir des cavités.

Sur les autres communes du Bassin minier, aucune carte n'a été établie. Le phénomène est alors qualifié en fonction de sa susceptibilité (probabilité d'occurrence). Celle-ci est fonction de la densité de cavités (issues de la base de données disponible sur portail Géorisque, <http://www.georisques.gouv.fr>) recensées dans une maille carrée de 500 m par 500 m ainsi que de la présence de formations géologiques susceptibles d'en contenir :

- **Susceptibilité forte** : quand le nombre de cavités recensées dans la maille carrée de 500 m sur 500 m est strictement supérieur à 8 ;
- **Susceptibilité moyenne** : quand le nombre de cavités recensées dans la maille carrée de 500 m sur 500 m est compris entre 5 et 8 ;
- **Susceptibilité faible** : quand le nombre de cavités recensées dans la maille carrée de 500 m sur 500 m est compris entre 2 et 4, ou quand il y a présence d'une formation géologique susceptible d'en contenir dans la tranche de profondeur considérée ;
- **Susceptibilité nulle** : quand le nombre de cavités recensées dans la maille carrée de 500 m sur 500 m est inférieur ou égal à 1 et quand il n'y a pas de formation géologique susceptible de contenir des cavités dans la tranche de profondeur considérée.

5.2.3. Données utilisées pour le traitement

Sur le territoire du bassin minier, seul un PPRMT (Plan de Prévention des Risques Mouvement de Terrain) a été réalisé : celui-ci a été réalisé sur le territoire du Valenciennois, a été approuvé en 2008 et modifié en 2013. La carte d'aléa de ce PPRMT est utilisée pour qualifier le phénomène sur les communes d'Anzin, Marly, Petite-Forêt, Saint-Saulve et Valenciennes.

Pour les mailles du Bassin minier qui n'intersectent aucune zone de la carte d'aléa du PPRMT du Valenciennois, les données suivantes sont utilisées :

- La base de données disponible sur le portail Géorisque (<http://www.georisques.gouv.fr>) qui recense de façon homogène l'ensemble des cavités souterraines abandonnées hors-mines en France métropolitaine ;
- L'Atlas de Potentiel Géothermique (Picot J. et Pira K. (2011)) qui permet de localiser la couche de la craie, seule couche géologique présente sur le territoire du Bassin minier susceptible de contenir des exploitations souterraines.

Dans la base de données disponible sur le portail Géorisque, les cavités sont localisées avec une précision variable. Aussi, les cavités ne sont pas représentées par des points, mais par des disques centrés sur la cavité et de rayon égal à la précision, augmentée de 50 m, du positionnement géographique qui lui est associé. Les cavités dont la précision du positionnement géographique n'est pas connue ne sont pas prises en compte, de même que celles dont la précision du positionnement géographique est supérieure à 1000 mètres. Ajoutons que, du fait de cette représentation des cavités par un disque, il n'est pas calculé, lors de la détermination de

la susceptibilité du phénomène, le nombre de cavités présentes dans chaque maille carrée de 500 m sur 500 m, mais le nombre de disques qu'elles intersectent.

Les exploitations souterraines ne sont pas les seules cavités anthropiques (hors-mines) présentes sur le territoire du Bassin minier. Celui-ci comporte également des sapes de guerre (de la Première Guerre mondiale) qui, elles, peuvent se retrouver dans d'autres formations géologiques que la craie. Certaines d'entre elles sont recensées dans la BD Cavités, mais il est probable que d'autres n'ont pas encore été identifiées et localisées. Cependant, en l'absence de fichiers géoréférencés qui permettraient de localiser les secteurs où se sont tenues des guerres de mines, il n'a pas été intégré dans l'étude d'autres couches géologiques que celles de la craie pour qualifier la susceptibilité du phénomène affaissement/effondrement des cavités (hors-mines). De plus, la couche de la craie couvrant une très large partie du territoire du bassin minier, identifier les couches géologiques ou secteurs susceptibles de contenir des sapes (pour leur associer une susceptibilité faible) n'aurait pas modifié, ou très marginalement, les cartes obtenues.

5.2.4. Cotation et cartographie du phénomène « affaissement/effondrement lié aux cavités (hors mines) »

La susceptibilité est cartographiée pour les trois tranches de profondeur 10 – 50 m, 10 – 100 m et 10 – 200 m. Toutefois, l'application de la méthodologie décrite ci-dessus aboutit à des cartographies identiques pour les gammes de profondeur 10-100 m et 10-200 m. La cartographie pour la gamme de profondeur 0 – 50 m, par contre, est différente de ces dernières dans la région au nord du périmètre d'étude. Elle est y présente une susceptibilité réduite qui résulte du fait suivant : la couche de la craie se situe, dans la zone septentrionale du Bassin minier, à une profondeur supérieure à 50 mètres et n'est donc prise en compte que pour les gammes de profondeur 0 – 100 m et 0 – 200 m. Toutefois, il est à noter qu'à ces profondeurs, la couche de la craie ne présente très probablement aucune cavité. En effet, les exploitations de craie connues ne dépassent pas les 50 mètres de profondeur.

D'autre part, chaque niveau d'aléa/susceptibilité est affecté d'une valeur d'autant plus élevée que le niveau d'aléa/susceptibilité est fort. Cette valeur dépend également, comme préconisé dans le guide d'élaboration de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance (version 2015), des données qui sont utilisées pour la déterminer : le tableau 5 donne les valeurs affectées à chaque niveau d'aléa lorsque les données utilisées sont celles issues d'une carte d'aléa, et le tableau 6 donne les valeurs affectées à chaque niveau de susceptibilité lorsque les données utilisées pour le déterminer sont celles issues de la banque de données disponible sur le portail Géorisques. Ces tableaux sont identiques à ceux présentés dans le guide d'élaboration de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance (version 2015).

Niveau d'aléa du phénomène	Nul	Faible	Moyen	Fort
Valeur du niveau d'aléa	0	1	5	7

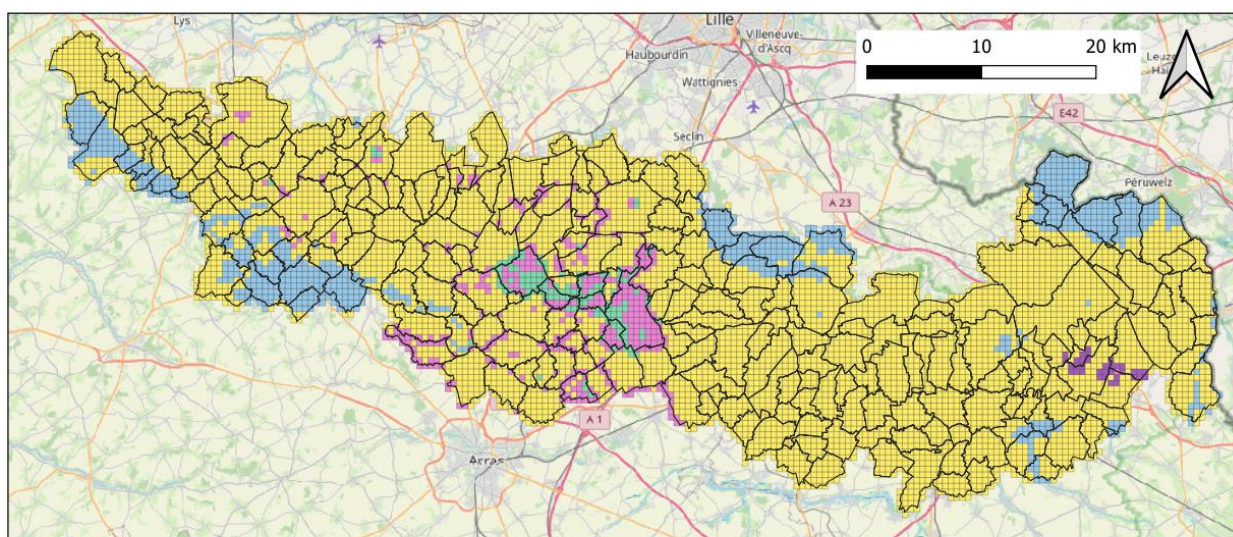
Tableau 4 – valeurs des niveaux d'aléa du phénomène lorsqu'ils sont déterminés à partir d'une carte d'aléa

Niveau d'aléa du phénomène	Nul	Faible	Moyen	Fort
Valeur du niveau d'aléa	0	1	2	3

Tableau 5 – Valeurs des niveaux d'aléa du phénomène lorsqu'ils sont déterminés à partir de la base de données Géorisques

Dernier point, compte-tenu de la nature du phénomène redouté et des impacts potentiels liés à ce type de phénomène, le facteur aggravant potentiel est estimé de niveau faible (2) pour les sondes géothermiques verticales (SVG) et pour les doublets sur nappe.

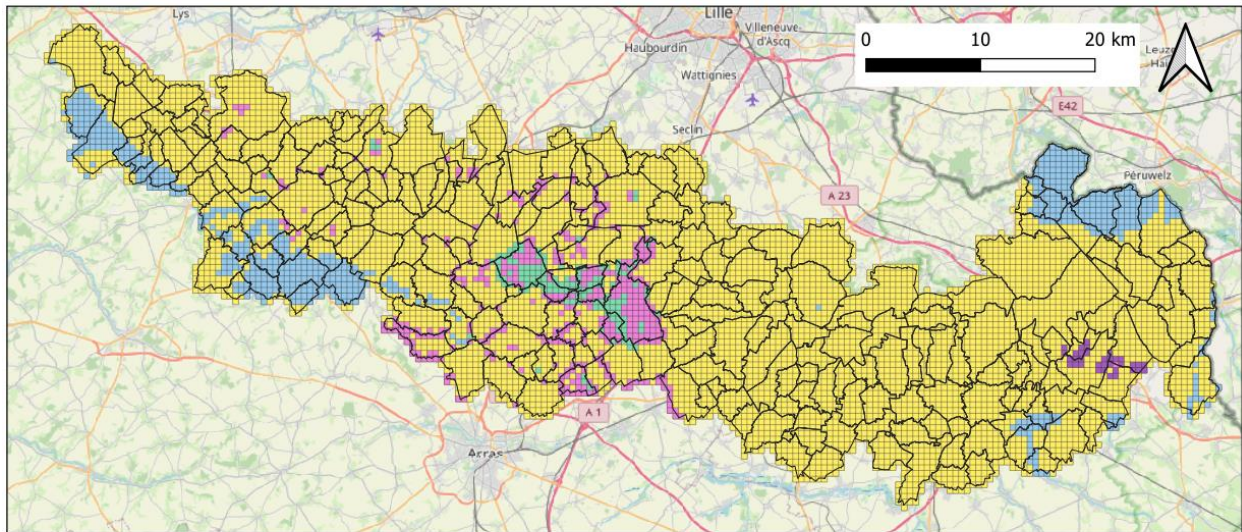
Les couches du phénomène « affaissement/effondrement lié aux cavités (hors-mine) » sont données ci-dessous (cf. Illustrations 19 et 20).



Effond./affaiss. de cavités souterraines hors mines - Profondeurs : 10-50 m

0 - Susceptibilité nulle	Blue
1 - Susceptibilité faible (BDCavités ou carte d'aléa)	Yellow
2 - Susceptibilité moyenne (BDCavités)	Pink
3 - Susceptibilité forte (BDCavités)	Green
5 - Susceptibilité moyenne (carte d'aléa)	Purple

Illustration 19 – Niveaux d'aléa pour le phénomène « affaissement/effondrement lié aux cavités non-minières » dans la tranche de profondeur 10-50 m.



Effond./affaiss. de cavités souterraines hors mines - Profondeurs : 10-100 m et 10-200 m

0 - Susceptibilité nulle	
1 - Susceptibilité faible (BDCavités ou carte d'aléa)	
2 - Susceptibilité moyenne (BDCavités)	
3 - Susceptibilité forte (BDCavités)	
5 - Susceptibilité moyenne (carte d'aléa)	

Illustration 20 – – Niveaux d'aléa pour le phénomène « affaissement/effondrement lié aux cavités non-minières » dans les tranches de profondeur 10-100 m et 10-200 m.

5.3. PHENOMENE « AFFAISSEMENT/EFFONDREMENT LIE AUX CAVITES MINIERES »

5.3.1. Description du phénomène et occurrences

Il s'agit ici d'effondrements localisés (par exemple, de type « fontis » ou « débouillage de puits ») et généralisés ainsi que d'affaissements. De par leur brutalité, les effondrements localisés et généralisés (qui correspondraient, dans le Bassin minier, à des débouillages de puits plutôt qu'à des fontis) sont susceptibles de mettre en péril la sécurité des personnes. Ils génèrent donc un impact plus fort que celui associé aux affaissements ; phénomènes plus lents qui n'induisent généralement qu'un risque économique « en ne mettant en péril que les constructions ». Dans le cadre d'un projet de géothermie basse température, la foration peut avoir des conséquences sur la tenue des terrains provoquer des phénomènes d'affaissement/effondrement dans les zones concernées par des cavités minières. Ces phénomènes pourraient donc être provoqués soit par la foration au cours de la mise en place du dispositif soit, sur toute la durée de vie de l'ouvrage, par la mise en communication d'eau de surface ou d'aquifères superficiels ou profonds avec les cavités à la faveur d'ouvrages souterrains dont l'étanchéification se révélerait problématique dans ce contexte.

Qualification du phénomène

Des études d'aléas miniers ont été réalisées sur le territoire du Bassin minier. Ces études d'aléas miniers ont été réalisées par Geoderis, avec l'aide de l'Ineris, à la demande de la DREAL Hauts-de-France (GEODERIS/INERIS (2010 -2012)). Ces études ont concerné toutes les zones exploitées pour extraire du charbon. Ainsi, en l'absence de carte de ce phénomène à l'échelle nationale en France, ce sont ces données qui sont exploitées pour qualifier le phénomène. La qualification est établie de la manière suivante dans le guide d'élaboration de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance :

- **Niveau fort** : zone potentiellement concernée par des phénomènes d'effondrement localisés et généralisés en lien avec une exploitation minière passée ou actuelle ;
- **Niveau moyen** : zone potentiellement concernée par des phénomènes d'affaissement progressif (phénomène lent) ;
- **Niveau faible** : zones exploitées qui ne peuvent engendrer en surface que des mouvements de faible ampleur ;
- **Niveau nul** : zone où aucun aléa n'a été défini.

5.3.2. Données utilisées pour le traitement

Les données issues des cartes d'aléa minier sont utilisées pour qualifier le phénomène. Au sein des données issues de ces cartes, sept types d'aléa minier apparaissent :

- Des effondrements localisés, qui sont considérés (pour la qualification du phénomène) comme des zones potentiellement concernées par des phénomènes d'effondrement localisé en lien avec l'exploitation minière passée de la houille ;
- Des affaissements, qui sont considérés (pour la qualification du phénomène) comme des zones potentiellement concernées par des phénomènes d'affaissement progressif (phénomène lent) ;

- Des tassements, qui sont considérés (pour la qualification du phénomène) comme des zones exploitées ou de dépôts qui ne peuvent engendrer en surface que des mouvements de faible ampleur ;
- La présence et l'émission de gaz de mine, qui seront traitées dans un chapitre à part ;
- Des glissements superficiels sur teruil, qui ne sont pas pris en compte dans la réalisation de la cartographie relative au phénomène « Affaissement/ effondrement » lié aux cavités minières ;
- Des glissements profonds sur teruil, qui ne sont pas pris en compte dans la réalisation de la cartographie relative au phénomène « Affaissement/ effondrement » lié aux cavités minières ;
- Des échauffements, qui ne sont pas pris en compte dans la réalisation de la cartographie relative au phénomène « Affaissement/ effondrement » lié aux cavités minières.

Toutefois, toutes les zones d'aléas miniers associées à ceux retenus pour la qualification du phénomène ne sont pas prises en compte : celles relatives à des teruils non arasés sont exclues de l'étude car elles ne peuvent matériellement pas être utilisées pour des projets de géothermie de minime importance. Elles ne sont pas prises en compte dans la cartographie du phénomène sur le territoire du Bassin minier.

D'autre part, lorsqu'une maille intersecte plusieurs zones d'aléa, il est retenu celle dont le niveau est le plus fort. Ainsi, par exemple, si une maille intersecte un effondrement localisé et un affaissement, un niveau de susceptibilité fort est affecté à cette maille.

5.3.3. Cotation et cartographie du phénomène « affaissement/effondrement lié aux cavités minières »

Une seule couche de susceptibilité s'applique aux trois tranches de profondeur 10 – 50 m, 10 – 100 m et 10 – 200 m. D'autre part, chaque niveau d'aléa est affecté d'une valeur d'autant plus élevée que le niveau d'aléa est fort (cf. tableau 5).

Niveau d'aléa du phénomène	Nul	Faible	Moyen	Fort
Valeur du niveau d'aléa	0	1	3	5

Tableau 6 – valeurs des niveaux d'aléa du phénomène

La quasi-totalité des mailles affectées par le phénomène « affaissement/effondrement lié aux cavités minières » le sont également par le phénomène « présence et émission de gaz de mine ». Or ce dernier phénomène ne figure pas dans le guide d'élaboration de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance (version 2015). Il n'est pris en compte que dans le Bassin minier du Nord-Pas-de-Calais. Par conséquent, les valeurs de niveau d'aléa indiquées dans le guide d'élaboration de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance (version 2015) n'étaient pas pensées pour l'élaboration de couches où il serait pris en compte deux phénomènes associés à une activité minière passée. Le contexte particulier du Bassin minier du Nord-Pas-de-Calais amène donc à réduire les valeurs des niveaux d'aléa pour les niveaux d'aléa Moyen et Fort (3 et 5 au lieu de 5 et 7) afin de ne pas pénaliser plus que de raison les mailles affectées par le phénomène « affaissement/effondrement lié aux cavités minières » et le phénomène « présence et émission du gaz de mine ». Les valeurs de niveau d'aléa pour les niveaux d'aléa Nul et Faible, par contre, ne sont pas modifiées : ce sont

celles qui figurent dans le guide d'élaboration de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance (version 2015).

Toutefois, il est identifié 7 mailles pour lesquelles, pour la tranche de profondeur 10 – 50 m :

- Le niveau d'aléa était fort pour le phénomène « affaissement/effondrement lié aux cavités minières » ;
- Le niveau d'aléa/susceptibilité était nul pour tous les autres phénomènes.

Ainsi ces 7 mailles sont-elles classées en zone verte, pour la tranche de profondeur 10 – 50 m, lorsqu'il est utilisé les valeurs de niveau d'aléa présentées dans le tableau 5. Or, avec les valeurs de niveau d'aléa données dans le guide d'élaboration de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance (version 2015), ces 7 mailles seraient classées en zone orange. Il est donc décidé d'affecter à ces 7 mailles, et seulement à ces 7 mailles, une valeur de niveau d'aléa de 7 afin que les modifications apportées dans le traitement des couches ne conduisent pas à classer ces 7 mailles en zone verte plutôt qu'en zone orange.

D'autre part, compte-tenu de la nature du phénomène redouté et des impacts potentiels liés à ce type de phénomène, le facteur aggravant potentiel est estimé de niveau faible (2) pour les sondes géothermiques verticales et pour les doublets sur nappe. La couche du phénomène « affaissement/effondrement lié aux cavités minières » est donnée ci-dessous (Illustration 21).

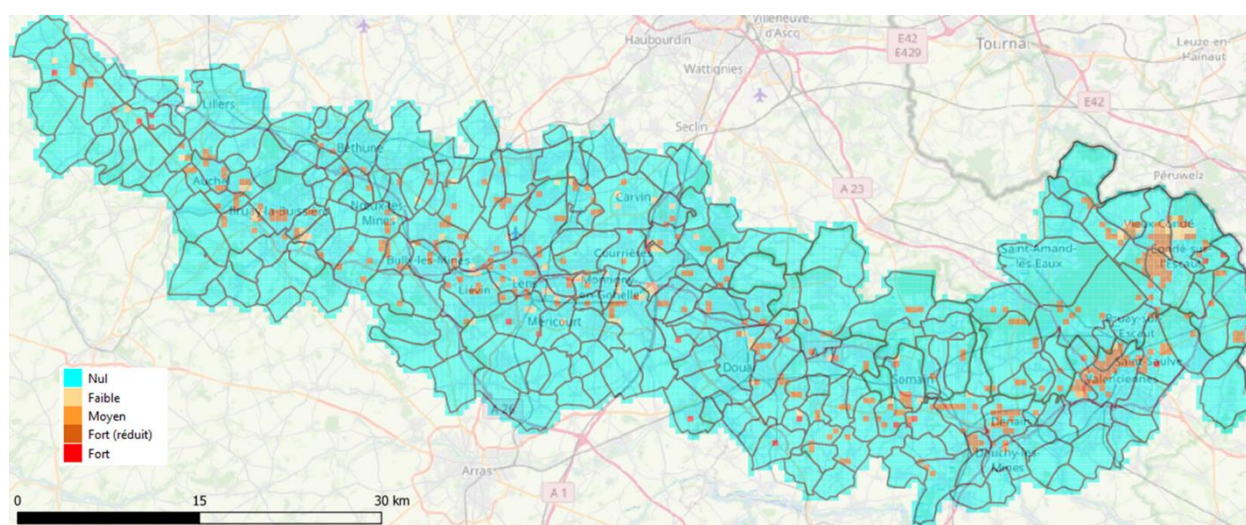


Illustration 21 – Niveaux d'aléa pour le phénomène « affaissement/effondrement lié aux cavités minières ».

5.4. PHENOMENE « MOUVEMENTS DE TERRAIN DE TYPE GLISSEMENT »

5.4.1. Description du phénomène et occurrences

Les zones présentant les conditions géométriques et lithologiques nécessaires au déclenchement d'un phénomène de type glissement de terrain peuvent rester stables, en l'absence d'un déclencheur du processus. En revanche, la foration au cours de la mise en place du dispositif de géothermie peut être un déclencheur de type glissement de terrain. Il en est de même pour la mise en communication entre les eaux superficielles, souterraines et le fluide caloporteur. Un tel phénomène est susceptible de se produire durant la foration ou l'exploitation géothermique.

En présence d'une nappe captive, un phénomène de glissement de terrain peut se produire en cas de percement non contrôlé de l'aquifère, avec un processus de saturation d'une couche supérieure qui ne l'était pas. Selon les couches lithologiques affectées et la géométrie de celles-ci, ce phénomène pourrait être très défavorable à la tenue des terrains. En dehors de la présence d'une nappe captive, le phénomène est réduit, car les volumes potentiellement infiltrés sont moins importants. Cela ne signifie pas qu'il n'y a pas de phénomène naturel de glissement de terrain, mais l'impact de la géothermie sur ce phénomène est limité.

5.4.2. Qualification du phénomène

Il n'existe de cartographie des aléas liés à ce phénomène ni à l'échelle nationale, ni sur la région du Bassin minier du Nord-Pas-de-Calais. Le phénomène est qualifié en fonction de sa susceptibilité (probabilité d'occurrence) et plus précisément de la densité de mouvements de terrains recensés dans une maille. Quatre niveaux de susceptibilité sont définis :

- **Susceptibilité forte** : quand le nombre de mouvements de terrain recensés dans une maille carrée de 500 m sur 500 m est strictement supérieur à 8 ;
- **Susceptibilité moyenne** : quand le nombre de mouvements de terrain recensés dans une maille carrée de 500 m sur 500 m est compris entre 5 et 8 ;
- **Susceptibilité faible** : quand le nombre de mouvements de terrain recensés dans une maille carrée de 500 m sur 500 m est compris entre 1 et 4 ;
- **Susceptibilité nulle** : quand il n'y a pas de mouvements de terrain recensés dans une maille carrée de 500 m sur 500 m.

5.4.3. Données utilisées pour le traitement

Les données ayant été utilisées pour qualifier le phénomène sont issues de la base de données Mouvements de Terrain (BDMVT), disponible sur le portail Géorisques (<http://www.georisques.gouv.fr>).

Cependant, dans les départements du Nord et du Pas de Calais, les mouvements de terrains recensés correspondent très souvent à des effondrements ou des affaissements de cavités. Aussi, la base de données BDMVT est-elle très peu fournie sur le territoire du Bassin minier pour le phénomène de mouvement de terrain de type glissement : seuls 8 y ont été recensés, dont 2 pour lesquels la précision avec laquelle ils sont localisés n'est pas précisée (ces deux mouvements de terrain n'ont donc pas été pris en compte dans la cartographie du phénomène).

Comme pour le phénomène « Cavités hors-mine », les mouvements de terrain pris en compte dans la cartographie du phénomène ne sont pas représentés par des points, mais par des disques. Ces disques ont pour centre, leur localisation dans la base donnée, et, pour rayon, la précision du positionnement géographique de l'entité considérée augmentée de 50 mètres. Dans la base de données, la précision du positionnement géographique est qualifiée par deux termes : décamétrique et hectométrique. Aussi :

- quand il est indiqué une précision décamétrique, il est pris 10 m comme précision du positionnement géographique ;
- quand il est indiqué une précision hectométrique, il est pris 100 m comme précision du positionnement géographique.

Ajoutons que, du fait de cette représentation des mouvements de terrain par un disque, il n'est pas calculé, lors de la détermination de la susceptibilité du phénomène, le nombre de mouvements de terrain présents dans chaque maille, mais le nombre de disques qu'elles intersectent.

5.4.4. Cotation et cartographie de l'aléa « mouvements de terrain de type glissement »

Une seule couche de susceptibilité s'applique aux trois tranches de profondeur 10 – 50 m, 10 – 100 m et 10 – 200 m. D'autre part, la méthodologie décrite ci-dessus a conduit à ne retenir que deux niveaux de susceptibilité (cf. tableau 6) :

Niveau de susceptibilité du phénomène	Nul	Faible
Valeur du niveau de susceptibilité	0	1

Tableau 7 – valeurs des niveaux de susceptibilité du phénomène

Compte-tenu de la nature du phénomène redouté et des impacts potentiels liés à ce type de phénomène, le facteur aggravant potentiel est estimé de niveau faible (2) pour les sondes géothermiques verticales et pour les doublets sur nappe.

La couche du phénomène « mouvements de terrain de type glissement » est donnée ci-dessous (Illustration 22).

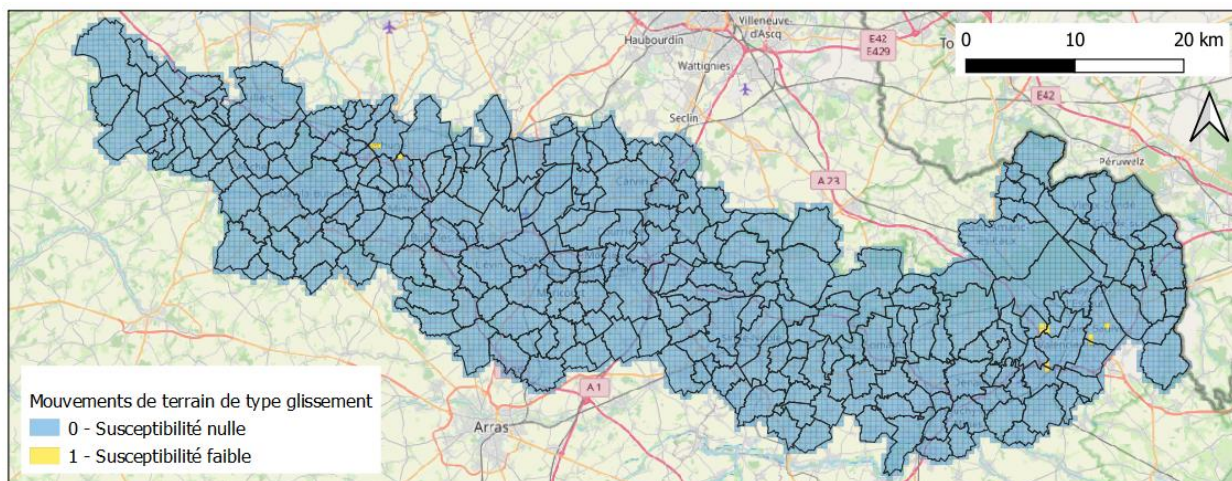


Illustration 22 – – Niveaux d'aléa pour le phénomène « mouvements de terrain de type glissement ».

5.5. PHENOMENE « POLLUTION DES SOLS ET DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINE »

5.5.1. Description du phénomène et occurrences

Ce phénomène de pollution des sols et des nappes par infiltration de polluants depuis la surface ou mise en contact d'aquifères avec des nappes polluées pourrait être provoqué :

- Soit par foration au cours de la mise en place du dispositif géothermique ;
- Soit, pour toute la durée de vie de l'ouvrage, par l'infiltration de polluants depuis la surface ou la mise en communication de nappes superficielles polluées avec des aquifères plus profonds, notamment, en cas de défaut d'étanchéité du trou ou forage.

5.5.2. Qualification du phénomène

Aucune donnée sur les panaches de pollution n'est disponible sur le territoire du Bassin minier. La qualification du phénomène s'est donc basée sur les données issues de BASOL et des SIS (Secteurs d'Information sur les Sols).

Pour les sites recensés dans la base BASOL, le phénomène est qualifié en fonction de sa susceptibilité (probabilité d'occurrence) :

- **Susceptibilité forte** : quand, dans la maille, il est recensé un site identifié dans BASOL et qu'il y a présence d'un aquifère dans la tranche de profondeur considérée ;
- **Susceptibilité faible** : quand, dans la maille, il est recensé un site identifié dans BASOL mais qu'il y a absence d'aquifère dans la tranche de profondeur considérée ;
- **Susceptibilité nulle** : quand, dans la maille, il n'est recensé aucun site identifié dans BASOL.

Pour les sites recensés dans SIS, la grille du tableau ci-dessous (Tableau 8) est utilisée pour qualifier la susceptibilité du phénomène.

Lorsqu'un même site pollué est présent dans la base BASOL et dans SIS, il est considéré comme un site SIS pour qualifier le phénomène. Lorsque des sites pollués issus de BASOL et d'autres issus de SIS sont recensés dans la même maille, il est affecté à la maille le niveau de susceptibilité le plus fort. Par exemple :

- si l'analyse des sites BASOL et le recensement des aquifères présents dans la tranche de profondeur considérée amène à associer à la maille étudiée un niveau de susceptibilité moyen ;
- et si l'analyse des sites SIS amène à associer à la maille étudiée un niveau de susceptibilité faible ;
- alors il est affecté à la maille étudiée un niveau de susceptibilité moyen.

Phénomène de pollution des sols et des nappes		Niveau de susceptibilité du phénomène	Polluant non métallique ou mercure	Niveau de susceptibilité du phénomène	Si réhabilitation	Niveau de susceptibilité du phénomène
Pollutions des sols avérées	Impacts sur la nappe avérés	Fort	Oui	Très fort	Activité ou équivalent	Fort
					Habitation ou équivalent	Faible
			Non	Fort	Activité ou équivalent	Moyen
					Habitation ou équivalent	Faible
	Impacts sur la nappe non exclus	Moyen	Oui	Fort	Activité ou équivalent	Moyen
					Habitation ou équivalent	Faible
			Non	Moyen	Activité ou équivalent	Moyen
					Habitation ou équivalent	Faible
	Impacts sur la nappe exclus	Faible		Faible		Faible
						Faible
Pollutions des sols non exclues	Impacts sur la nappe avérés	Fort	Oui	Très fort	Activité ou équivalent	Fort
					Habitation ou équivalent	Faible
			Non	Fort	Activité ou équivalent	Moyen
					Habitation ou équivalent	Faible
	Impacts sur la nappe non exclus	Faible	Oui	Moyen	Activité ou équivalent	Moyen
					Habitation ou équivalent	Faible
			Non	Faible	Activité ou équivalent	Faible
					Habitation ou équivalent	Faible
	Impacts sur la nappe exclus	Faible		Faible		Faible
						Faible
Pollutions des sols avérées ou non exclues	Absence de nappe	Faible		Faible		Faible

Tableau 8 – Qualification de l'aléa pour les sites pollués recensés dans SIS

5.5.3. Données utilisées pour le traitement

Les données utilisées pour qualifier le phénomène sont issues de trois sources :

- la base de données BASOL ;
- la base de données SIS ;
- l'Atlas de Potentiel Géothermique très basse énergie des aquifères de la région Nord-Pas de Calais réalisé par le BRGM en 2011 (Picot J. et Pira K. (2011)).

Parmi les sites BASOL recensés sur le territoire du bassin minier, bon nombre sont localisés au centre de la commune. Un par un, ils sont étudiés puis repositionnés précisément. Seul trois d'entre eux (sur les communes de Bellaing, Wallers et Flers-en-Escrebieux) ne sont pas, finalement, précisément localisés : ceux-ci ne sont pas pris en compte dans la cartographie du phénomène.

Les sites BASOL, lorsqu'ils sont pris en compte pour le calcul du niveau de susceptibilité du phénomène, ne sont pas représentés par des points. Ils sont représentés par des disques de rayon 500 m, non pour compenser une imprécision de la localisation (comme c'était le cas pour les cavités et les glissements de terrain) mais pour modéliser les éventuels panaches de pollution dont ils seraient à l'origine. Ajoutons alors que, du fait de cette représentation des sites BASOL par un disque, il n'est pas vérifié, pour qualifier le phénomène, que la maille contient au moins un site BASOL, mais il est vérifié qu'elle intersecte au moins un des disques.

De même, les sites SIS ne sont pas représentés par des points. Ils sont représentés par des disques de rayon 500 m, non pour compenser une imprécision de la localisation (comme c'était le cas pour les cavités et les glissements de terrain) mais pour modéliser les éventuels panaches de pollution dont ils seraient à l'origine. Comme pour les sites BASOL, un site SIS doit être pris en compte pour qualifier le phénomène dès lors que le disque qui le représente intersecte la maille.

L'Atlas de Potentiel Géothermique très basse énergie des aquifères de la région Nord-Pas de Calais (Picot J. et Pira K. (2011)) est utilisé pour localiser les aquifères. Cette donnée est nécessaire pour déterminer le niveau de susceptibilité lorsque les sites étudiés sont des sites BASOL.

5.5.4. Cotation et cartographie du phénomène « pollution des sols et des nappes d'eau souterraine »

La susceptibilité est cartographiée pour les trois tranches de profondeur 10 – 50 m, 10 – 100 m et 10 – 200 m. Les trois couches (pour les trois tranches de profondeurs) sont identiques dans le cas du Bassin minier du Nord-Pas-de-Calais : une seule couche, valable pour les trois tranches de profondeur, est donc proposée dans la suite. D'autre part, chaque niveau de susceptibilité est affecté d'une valeur d'autant plus élevée que le niveau de susceptibilité est fort (tableau 8) :

Niveau de susceptibilité du phénomène	Nul	Faible	Moyen	Fort
Valeur du niveau de susceptibilité	0	1	4	6

Tableau 9 – Valeurs des niveaux de susceptibilité du phénomène.

D'autre part, compte-tenu de la nature du phénomène redouté et des impacts potentiels liés à ce type de phénomène, le facteur aggravant potentiel est estimé de niveau moyen (3) pour les sondes géothermiques verticales et pour les doublets sur nappe.

La couche du phénomène « pollutions des sols et des nappes d'eau souterraines » est donnée ci-dessous (cf. illustrations 24).

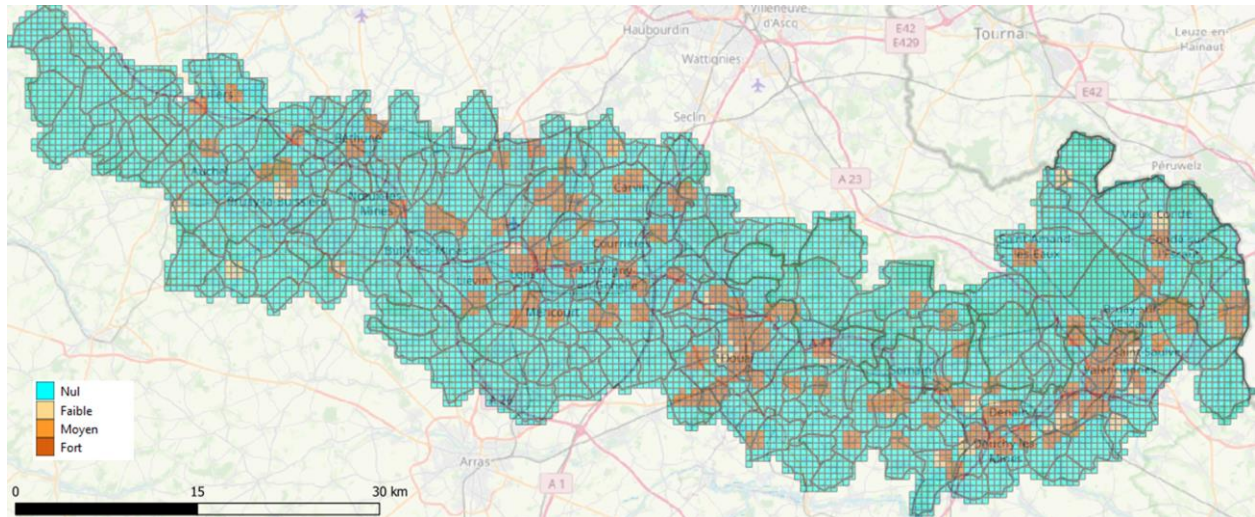


Illustration 23 – Niveaux d'aléa pour le phénomène « pollution des sols et des nappes d'eau souterraine pour toutes les tranches de profondeur.

5.6. PHENOMENE « ARTESIANISME »

5.6.1. Phénomène redouté

L'artésianisme se définit comme *l'aptitude d'un aquifère captif à permettre la remontée d'eau spontanée par des ouvrages (puits, forages)*.

Cette remontée d'eau en surface peut ainsi entraîner des écoulements d'eau sur le sol, et/ou une déstabilisation d'une formation superficielle.

5.6.2. Qualification du phénomène

Pour un forage donné, il y a artésianisme si d'une part la profondeur du forage atteint au moins le toit de l'aquifère, d'autre part si la piézométrie de la nappe est supérieure à la topographie du terrain.

La qualification de ce phénomène est établie ainsi :

- **Susceptibilité forte** : présence d'un aquifère artésien connu ;
- **Susceptibilité moyenne** : présence d'un aquifère ayant un niveau piézométrique proche de la surface du sol dans la tranche de terrain considérée ;
- **Susceptibilité nulle** : pas d'aquifère artésien connu dans la tranche de terrain considérée.

5.6.3. Données utilisées pour le traitement

La qualification de ce phénomène s'est appuyée sur la comparaison entre le niveau piézométrique des aquifères et l'élévation du terrain. Elle prend notamment en compte les données de la BD-LISA^{Erreur ! Signet non défini.}, le modèle géologique GDM.

Un complément a été apporté à partir des forages artésiens des bases de données BSS (Banque de données du Sous-Sol) et BSS-EAU/ADES. Quelques ouvrages artésiens dans la zone d'étude sont référencés dans ces bases. Une recherche a été effectuée dans les descriptifs des forages afin de trouver les mots « ARTESIEN », « FORAGE-ARTESIEN », « PUIITS-ARTESIEN » ou « JAILLISSANT ». En tout, 943 points ont été retenus, dont 888 utilisés comme points d'eau et identifiés à la fois dans la BSS et a BSSEAU (Illustration 24). Les informations dans ces bases ont été interprétées de la façon suivante :

- La présence d'un forage artésien à l'intérieur d'une maille a été considérée comme suffisante pour la classification entière de la zone en susceptibilité forte.
- La notion de « proximité de la surface » dans la définition de susceptibilité moyenne a été définie comme la présence d'un forage qui atteint une nappe captive dont la hauteur piézométrique atteint les premiers 5 m de profondeur par rapport à la surface.

Certains points ont été écartés après analyse, s'agissant pour la plupart simplement de forages ayant rencontré une nappe captive non artésienne.

La susceptibilité se doit d'être cartographiée pour les trois gammes de profondeur 10-50 m, 10-100 m et 10-200 m, mais les données disponibles ont mené à réaliser une seule cartographie applicable aux trois tranches de profondeur.

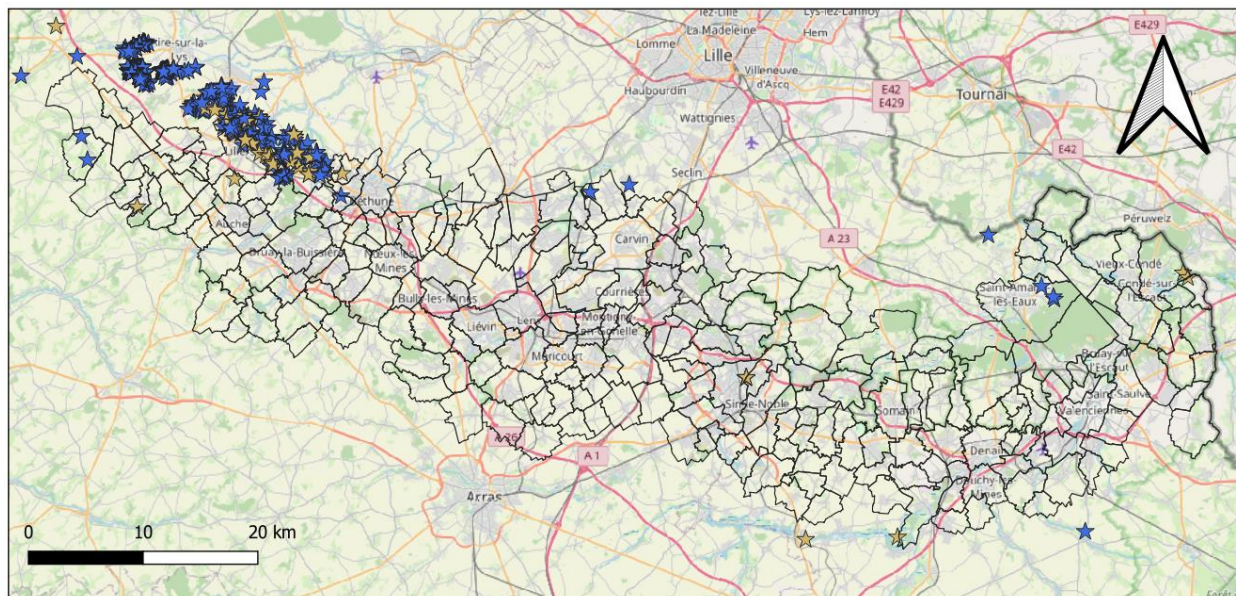


Illustration 24 – Forages dans la BSS et la BSSEAU contenant un lexique indiquant un caractère potentiellement artésien. Étoiles bleues : points d'eau ; étoiles ocres : autres types de forage.

Sur le territoire du Bassin minier Nord-Pas-de-Calais, l'artésianisme est bien identifié pour la nappe de la craie séno-turonienne (Illustration 25). Captive sous l'Argile de Louvil, la nappe de la craie dessine une frange artésienne étendue dans la partie nord-nord-ouest de la zone d'étude. Le grand cluster de points identifiés sur l'illustration 24 témoigne de cet artésianisme connu et relativement bien cerné.

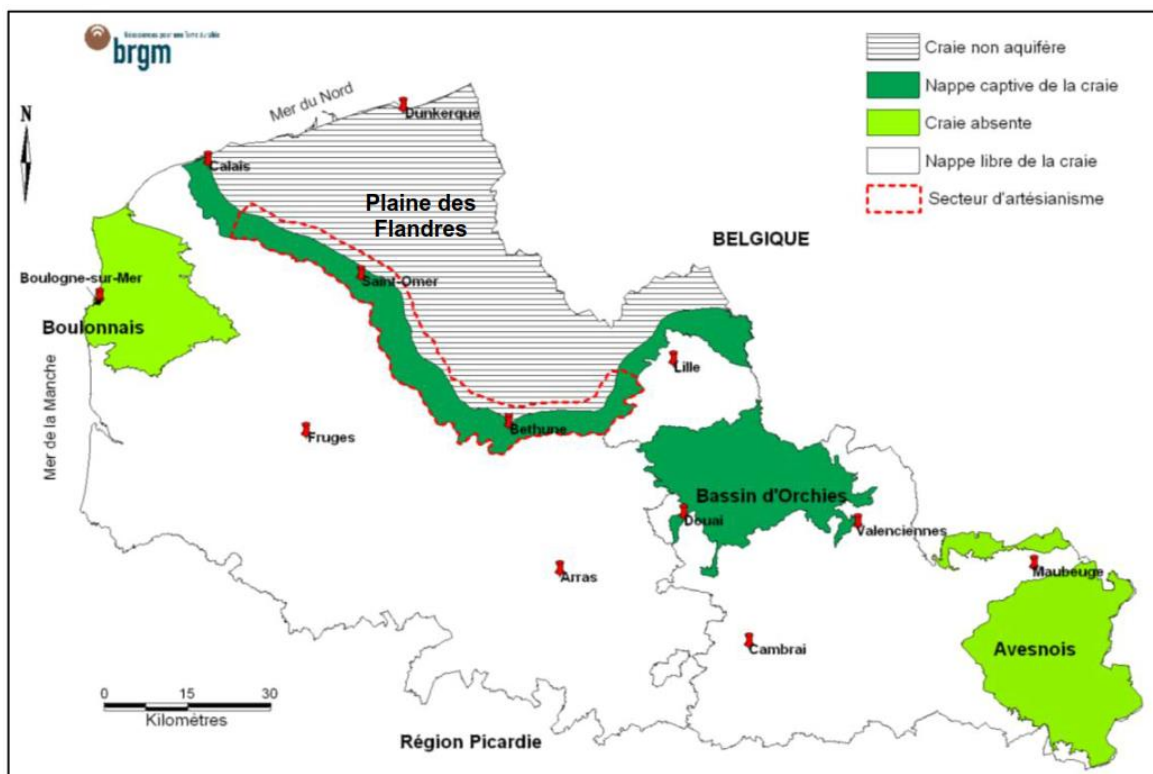


Illustration 25 – Extension de la nappe de la craie, avec délimitation du secteur d'artésianisme.

De plus, deux autres zones se distinguent comme potentiellement artésiennes :

- A l'ouest de la zone d'étude, la nappe de la craie cénomaniennne semble présenter un artésianisme local. Toutefois, seules les indications disponibles dans la BSS ont été retrouvées. Aucune étude traitant spécifiquement de l'artésianisme dans cette région n'a été retrouvée lors de la recherche bibliographique.
- A l'est, la nappe du calcaire carbonifère (Dinantien-Viséen) présenterait également un caractère artésien localisé. Cela est corroboré par les remontées d'eau à Saint-Amand-des-Eaux, puis également par les indications dans la notice de la carte géologique qui indiquent une zone d'artésianisme autour de la vallée de l'Elnon.

Sur le terrain, un forage artésien est souvent entouré à proximité par des forages non artésiens traduisant l'extension limitée du phénomène. En effet, dans ces deux zones les quelques forages artésiens apparaissent entourés par des forages non-artésiens. Toutefois, ces deux zones sont relativement éparées en termes de forages, ce qui n'a pas permis un traitement surfacique des données. Dans le sens de la sécurité, dans ces deux régions, la cartographie a classifié les mailles contenant des signes d'artésianisme en « susceptibilité forte » et ajouté un tampon en « susceptibilité faible » autour de chacun de ces sondages.

Toutefois, les mesures piézométriques postérieures à 2010 (rares), n'indiquent plus de caractère artésien pour les secteurs de Béthune et Saint-Amand-des-Eaux. Il a donc été décidé de prendre en compte cet artésianisme comme « historique », c'est-à-dire non présent actuellement, mais susceptible de réapparaître dans le futur.

5.6.4. Cotation et cartographie du phénomène « artésianisme »

Les aquifères artésiens se trouvent à moins de 50 m de profondeur sur toute la zone. Ainsi, une seule carte d'aléa artésianisme a été élaborée, s'appliquant à tous les tranches de profondeur. Trois niveaux de susceptibilité sont proposés dans le guide méthodologique (nul (« 0 »), moyen (« 3 ») et fort (« 7 »)). Pour les secteurs d'artésianisme historique, ces niveaux sont ramenés à moyen (« 1 ») et fort (« 4 ») (Tableau 10).

Niveau de susceptibilité du phénomène	Nul	Moyen historique	Moyen	Fort historique	Fort
Valeur du niveau de susceptibilité	0	1	3	4	10

Tableau 10 Valeurs des niveaux de susceptibilité du phénomène

Compte tenu des impacts potentiels liés à ce type de phénomène, le facteur aggravant potentiel est estimé au niveau « 2 » pour les doublets sur aquifère et au niveau « 4 » pour les sondes géothermiques verticales.

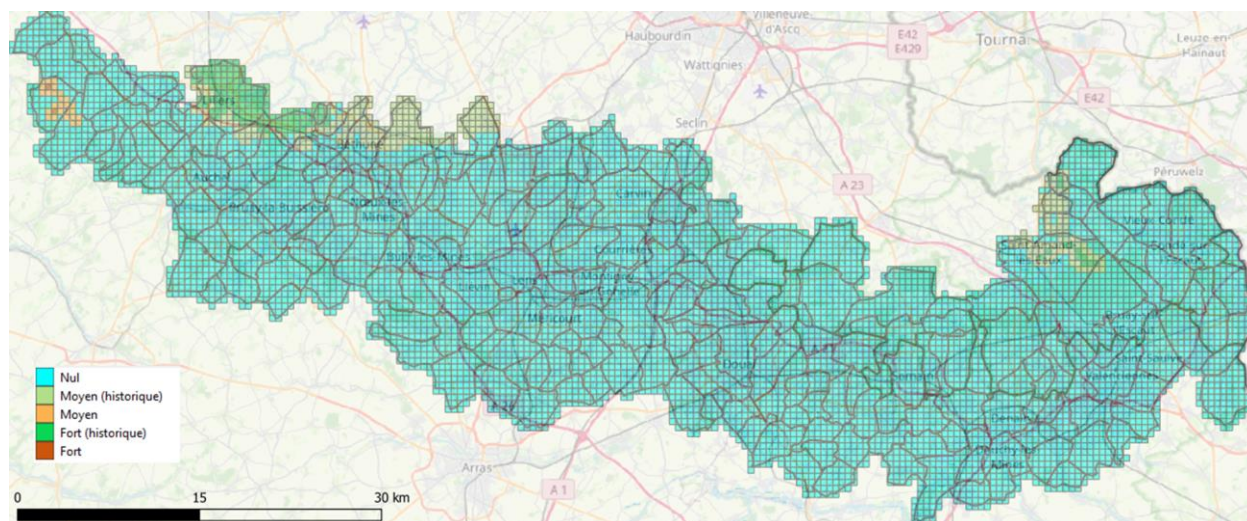


Illustration 26 – Niveaux d'aléa pour le phénomène « artésianisme » pour les 3 tranches de profondeur.

5.7. PHENOMENE « MISE EN COMMUNICATIONS DES EAUX SOUTERRAINES ENTRE DIFFERENTS AQUIFERES »

5.7.1. Phénomène redouté

Le phénomène redouté à la mise en communication verticale entre deux aquifères suivie d'un écoulement de l'eau d'un aquifère dans un autre pouvant entraîner :

- Une dégradation de la qualité de l'eau dans un des aquifères si l'autre est pollué ou se caractérise par une eau présentant un faciès géochimique différent ;
- La baisse du niveau piézométrique dans un aquifère pouvant entraîner des assèchements de captages voisins, voire des désordres géotechniques ;
- L'augmentation du niveau piézométrique d'un aquifère superficiel pouvant entraîner une remontée d'eau à la surface et une inondation potentielle.

Le phénomène est d'autant plus fort que la différence de niveau piézométrique entre les aquifères est importante.

5.7.2. Qualification du phénomène

Il n'existe pas de carte régionale du phénomène de mise en communication entre aquifères. La qualification du phénomène est donc basée sur la susceptibilité d'avoir au moins deux aquifères dans l'intervalle de profondeur considéré.

La susceptibilité a été établie ainsi sur le Bassin minier Nord-Pas-de-Calais avec les critères suivants :

- Susceptibilité faible : présence de deux ou plus nappes superposées ;
- Susceptibilité nulle : absence d'aquifère ou présence d'un seul aquifère.

La catégorie de susceptibilité moyenne définie dans la méthodologie nationale comme la « présence de plusieurs aquifères dont une ressource stratégique NAEP dans l'intervalle considéré » n'est pas applicable dans la zone d'étude, puisque la définition de NAEP (Nappes à réserver pour l'alimentation en eau potable) n'existe pas dans le bassin Artois-Picardie.

La susceptibilité est cartographiée pour les trois tranches de profondeur 10-50 m, 10-100 m et 10-200 m.

5.7.3. Données utilisées pour le traitement

Les données utilisées pour la représentation de la communication entre aquifères proviennent de la BD-LISA et du modèle géologique réalisé pour l'Atlas des ressources géothermiques sur nappe (Picot J. et Pira K. (2011)). En effet, la BD LISA permet de cartographier la superposition des nappes phréatiques, mais n'apporte pas d'indications de profondeur ni épaisseur des aquifères et niveaux imperméables. De ce fait, un travail de contraste entre ces deux sources de données a été mené de la façon suivante :

1. La BD Lisa permet d'évaluer les aquifères d'intérêt et leur extension spatiale en X et Y ;
2. Chaque aquifère est associé à une formation géologique correspondante dans le modèle géologique en 3D ;

3. Les données de profondeur du modèle 3D sont utilisées pour calculer la susceptibilité de recouvrement au sein des trois tranches de profondeur considérées ;
4. En cas d'incohérence entre le modèle géologique et la BD LISA en termes d'extension spatiale en X et Y (par exemple, une contradiction entre l'extension d'un aquifère et de l'objet géologique correspondant), c'est l'extension indiquée dans la BD LISA qui est utilisée, en y associant la profondeur venant du modèle.

Les aquifères suivants sont considérés (Illustration 27), listés par profondeur croissante :

- Sables du Landénien supérieur (ou Thanétien inférieur) (code BDLISA 119AA) ;
- Craie blanche à silex du Turonien supérieur à Sénonien et craies et marnes du Cénomaniens (code BDLISA 121BC et 121BD) ;
- Sables de l'Aptien-Albien (code BDLISA 127AA) ;
- Sables wéaldiens (code BDLISA 127AE) ;
- Calcaires du Dinantien (Carbonifère inférieur) (code DBLISA 149AC) ;
- Calcaire du Dévonien moyen et supérieur (code BDLISA 149AG).

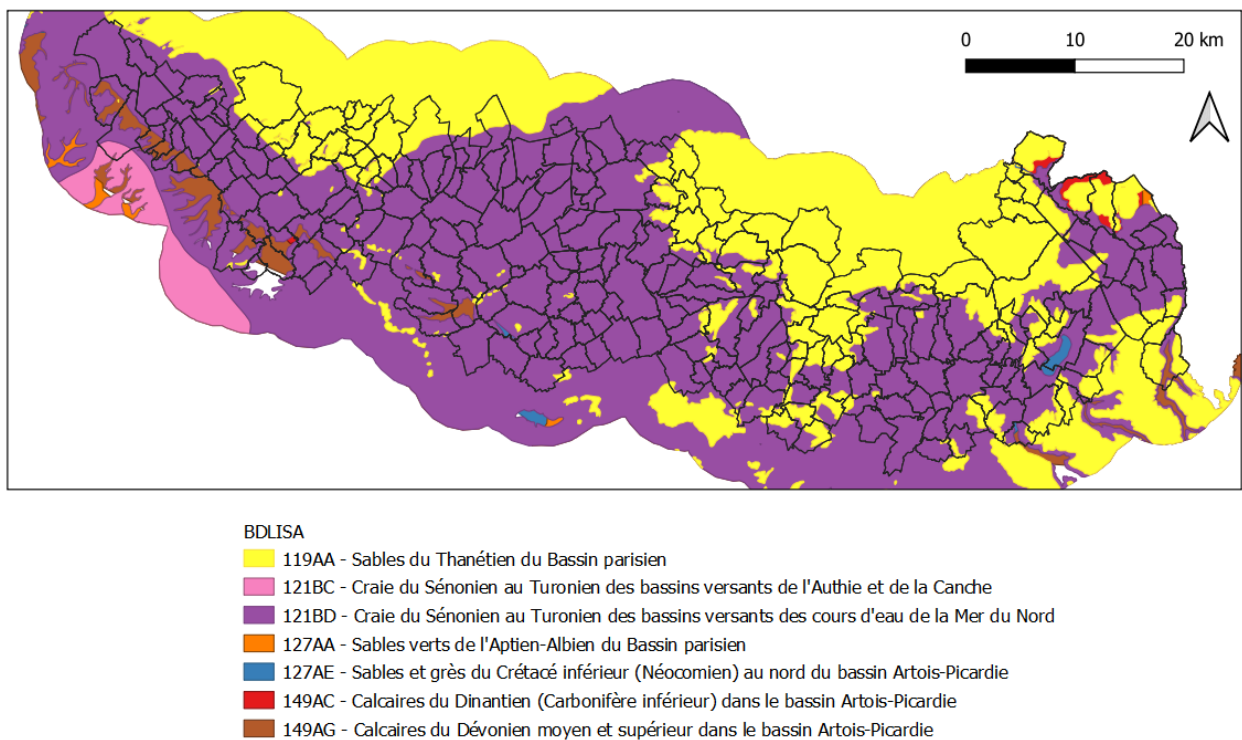


Illustration 27 – Aquifères recensés dans la BDLISA et limites communales.

Les nappes alluvionnaires n'ont pas été prises en compte, considérées comme localisées au-dessus de la limite supérieure de 10 m de profondeur de la présente étude.

L'Illustration 28 permet de voir le recouvrement entre ces différents objets hydrogéologiques, en enlevant à chaque étape la nappe la moins profonde

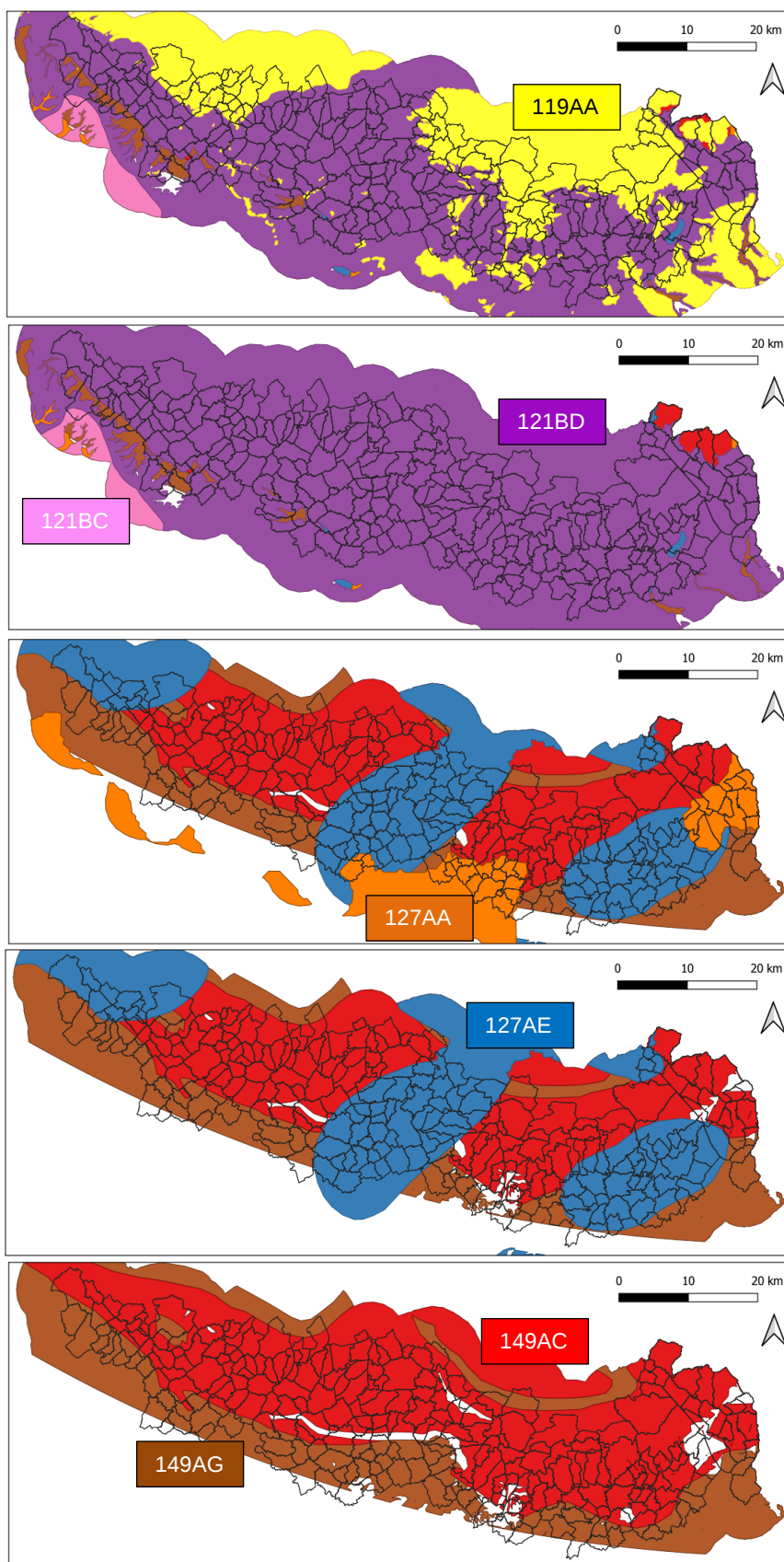


Illustration 28 – Superposition des aquifères de haut en bas (source : BDLISA).

L'illustration 29 présente le résultat de l'analyse. On rappelle que chaque couche englobe également la zone concernant la tranche de profondeur supérieure (par exemple, la zone d'interaction pour la tranche de profondeur de 10-100 m comprend les zones en rose en plus des zones en rouge).

On notera que l'étape 2 n'a pu être accomplie que partiellement pour les nappes dans le calcaire, puisque le modèle géologique s'arrête au toit du Paléozoïque. De ce fait, dans le sens de la sécurité, il a été considéré que, dès que le toit du Paléozoïque se trouve dans les tranches de profondeur d'intérêt (entre 10 et 200 m de profondeur) et que la DB LISA indique la présence d'une nappe, il peut y avoir interaction en cas de superposition.

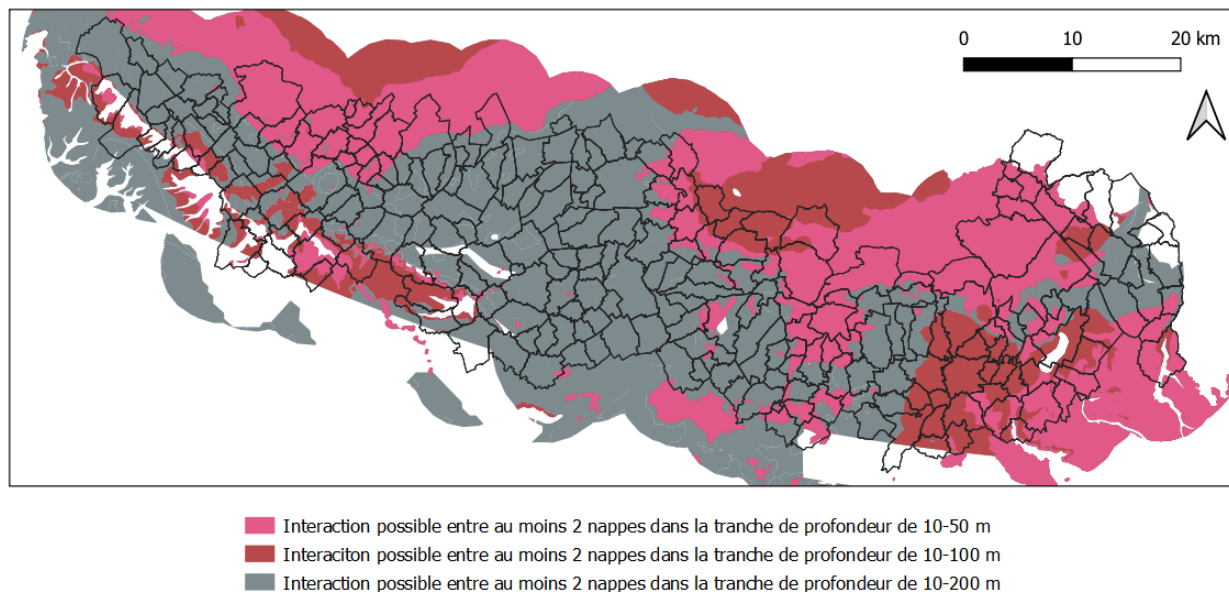


Illustration 29 – Résultat de l'analyse de la BDLISA concernant les possibilités d'interaction entre nappes phréatiques traversées par un même forage géothermique.

5.7.4. Cotation et cartographie du phénomène « mise en communication d'aquifères »

Le guide national de 2015 propose trois niveaux d'aléa pour les cartes régionales :

Susceptibilité	Niveau d'aléa	Définition
Nulle	0	Absence d'aquifère ou présence d'un seul aquifère.
Faible	1	Présence de deux ou plus nappes superposées.
Moyenne	4	Présence de plusieurs aquifères dont une ressource stratégique NAEP dans l'intervalle considéré.

Tableau 11 – Niveaux d'aléa pour le phénomène « mise en communication d'aquifères ».

Sur la zone d'étude, seuls les susceptibilités « nulle » et « faible » sont conservées, puisqu'aucune NAEP n'est définie.

Compte tenu des impacts potentiels liés à ce type de phénomène, le facteur aggravant potentiel est estimé au niveau « 4 » pour les doublets sur nappe et pour les sondes géothermiques verticales (SVG), soit une valeur maximale résultante de 4.

Trois couches pour le phénomène « mise de communication des eaux souterraines entre des aquifères différents » ont été réalisées, une pour chaque tranche de profondeur : 10 – 50 m, 10 – 100 m et 10 – 200 m. La surface en aléa faible varie de 37,4 % de 10 à 50 m, à 95,8 % de 10 à 200 m.

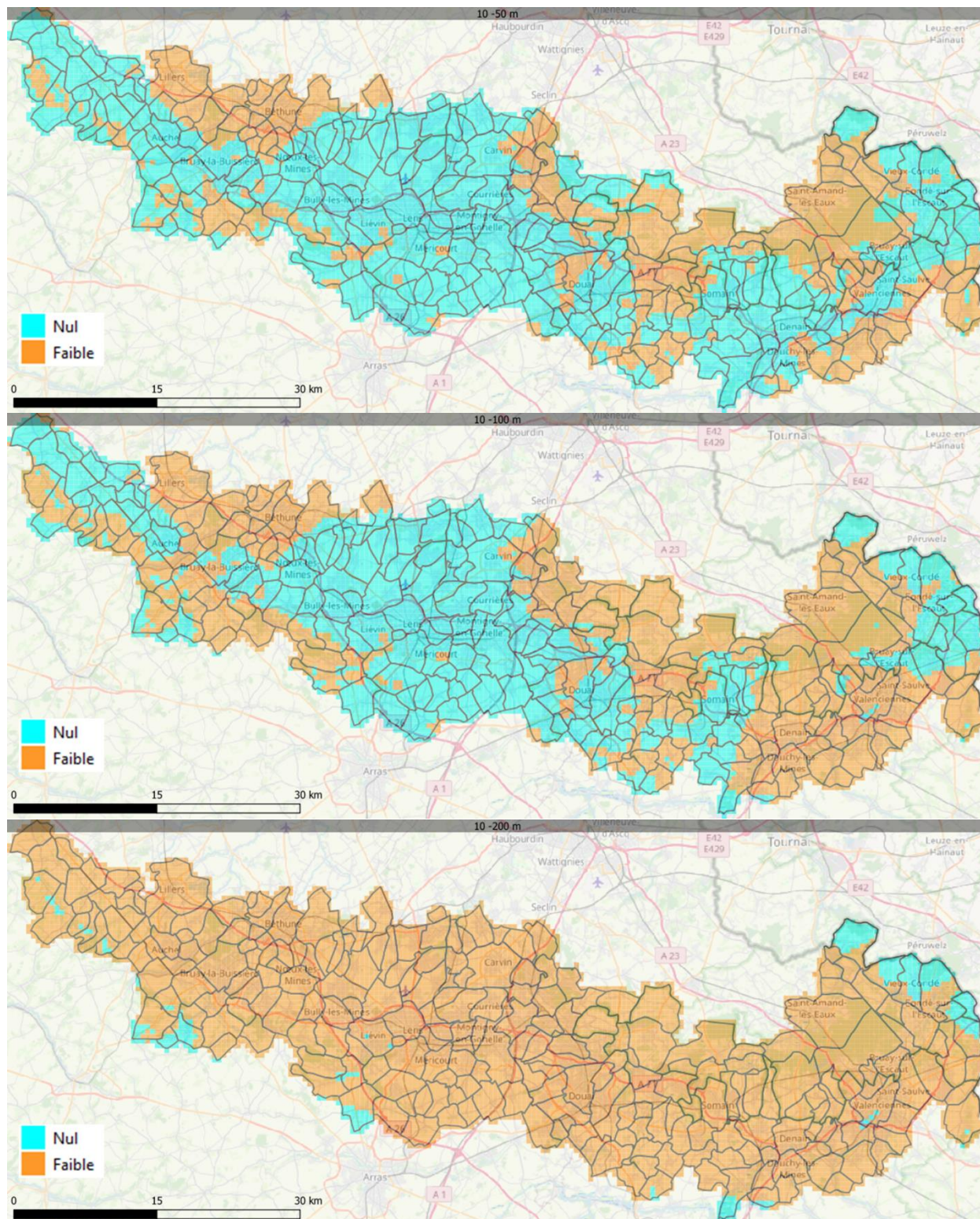


Illustration 30 – Niveaux d'aléa pour le phénomène « mise en communication d'aquifères » pour les trois tranches de profondeur.

5.8. PHENOMENE « PROBLEMES LIES A LA REINJECTION »

5.8.1. Phénomène redouté

Le phénomène décrit correspond à une remontée de nappe due à une surcote provoquée potentiellement par la réinjection d'eau dans le cadre du fonctionnement d'un doublet sur nappe. Ce phénomène est susceptible de provoquer une inondation des terrains en surface, voire une déstabilisation géotechnique.

5.8.2. Qualification du phénomène

Une étude sur les risques d'inondation par remontée de nappe en France a été réalisée par le BRGM pour le ministère en charge de l'environnement (Atlas des remontées de nappes en France métropolitaine, BRGM/RP-54414-FR, 2006) et a fait l'objet d'une diffusion des résultats sur le site internet www.georisques.gouv.fr.

La qualification du phénomène d'inondation par remontée de nappe à l'échelle du Bassin minier Nord-Pas-de-Calais est basée sur les données de cette étude. Elle est la même qu'à l'échelle nationale et est conforme au guide méthodologique. Il a été distingué :

- Niveau faible : présence d'un aquifère où un niveau piézométrique a déjà été observé entre 0 et 5 m sous la surface du sol en hautes eaux ;
- Niveau nul : pas d'aquifère ayant un niveau piézométrique déjà observé à moins de 5 m sous la surface du sol en hautes eaux.

L'inondation par remontée de nappe étant un phénomène superficiel, apparaissant à des profondeurs inférieures à 50 m, sa susceptibilité est identique pour toutes les tranches de profondeur. Une seule couche a donc été produite et celle-ci est applicable pour toutes les tranches de profondeur (10 – 50 m, 10 – 100 m et 10 – 200 m).

5.8.3. Données utilisées pour le traitement

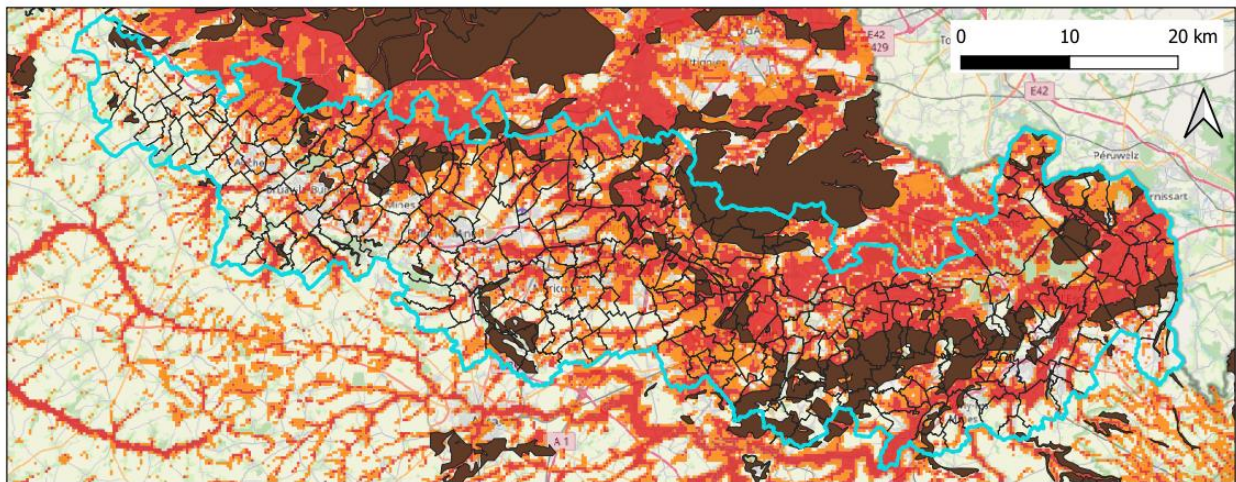
Les données proviennent de l'étude citée ci-avant. La cartographie propose deux couches de données : une donnée carroyée avec des niveaux d'aléa calculés, et une couche supplémentaire où sont cartées les zones avec des formations imperméables en surface, qui peuvent protéger contre cet aléa et ainsi moduler l'interprétation de la carte.

Dans le sens de la sécurité, étant donné que les forages viendraient forcément traverser les couches de sol imperméables, il a été décidé d'omettre la couche de sols imperméables et travailler uniquement avec l'aléa carroyé.

Un point d'attention a été soulevé pendant le traitement des données : le rapport qui accompagne la cartographie indique que les bassins miniers présentent des conditions hydrogéologiques spécifiques (notamment le rééquilibrage des nappes phréatiques après l'arrêt des travaux) qui sortent des limites de fiabilité de l'étude.

Toutefois, après consultation auprès du Département Prévention Sécurité Minière du BRGM, et en particulier du rapport « 3H » relatif aux conditions hydrogéologiques spécifiques constatées notamment dans la zone d'étude (« Etude Hydraulique, Hydrogéologique et Hydrochimique du Bassin Minier Charbonnier du Nord-Pas-de-Calais – Rapport de synthèse définitif », Charbonnages de France, 1999), il a été conclu que la vitesse de remontée des nappes dans le

Bassin houiller est suffisamment lente pour que la carte d'aléa nationale « remontée de nappe » puisse être appliquée pour les fins du présent projet.



Cartographie nationale de l'aléa inondation par remontée de nappe
 ■ Zones potentiellement sujettes aux débordements de nappe
 ■ Zones potentiellement sujettes aux inondations de cave
 ■ Formations imperméables en surface (source: BDLISA)

Illustration 31 – Cartographie nationale de l'aléa inondation par remontée de nappe et zone d'étude (contour cyan).

5.8.4. Cotation et cartographie du phénomène « remontée de nappe phréatique »

Chaque niveau a été affecté d'une valeur d'autant plus élevée que la susceptibilité est forte. Les valeurs de niveau/susceptibilité fournies par le guide méthodologique de 2015 (« 0 » et « 1 ») ont été retenues :

Susceptibilité	Niveau d'aléa	Description
Nulle	0	Pas d'aquifère ayant un niveau piézométrique déjà observé à moins de cinq mètres sous la surface du sol en hautes eaux.
Faible	1	Présence d'un aquifère où un niveau piézométrique a déjà été observé entre 0 et 5 mètres sous la surface du sol en hautes eaux.

Tableau 12 – Cotation du phénomène « remontée de nape phréatique »

Le travail de cartographie a consisté en une fusion automatique du carroyé sous SIG : Le carroyé de la carte d'aléa « remontée de nappes » présente un maillage avec des carrés de 250 x 250m, tandis que la cartographie du présent projet présente un maillage de 500 x 500m. Autrement, les deux maillages sont globalement coïncidents, ce qui veut dire que chaque maille de la cartographie GMI se superpose avec 4 mailles de la cartographie « remontée de nappes ».

Ainsi, un traitement de regroupement a été mis en place. Dès que au moins une maille de la cartographie « remontée de nappe » présente un risque de débordement de nappe ou inondation de cave, toute la maille correspondante de la cartographie « GMI » est classée en susceptibilité faible (niveau d'aléa 1). Afin qu'une maille soit classée en susceptibilité nulle (niveau d'aléa 0) il faut ainsi qu'aucun des quatre carrés correspondants dans la cartographie « remontée de nappes » ne présente d'aléa quelconque (Illustration 32).

Ce phénomène ne concerne que la tranche 10-50 m.

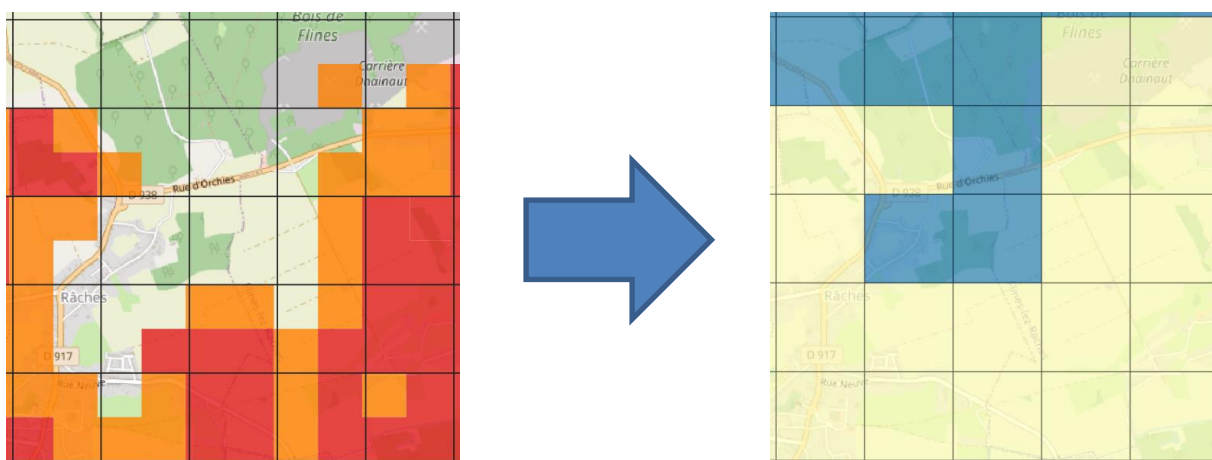


Illustration 32 – A gauche : Exemple du léger décalage entre le carroyé « remontée de nappe » (carrés rouges et oranges) et le carroyé « GMI » (contours noirs). A droite : conversion du carroyé « remontée de nappe » en cartographie du risque pour le présent projet (jaune = susceptibilité faible bleu = susceptibilité nulle).

L'illustration 33 présente la couche obtenue pour le phénomène « remontée de nappe phréatique ». 74,2 % des mailles sont exposées à l'aléa inondation par remontée de nappe.

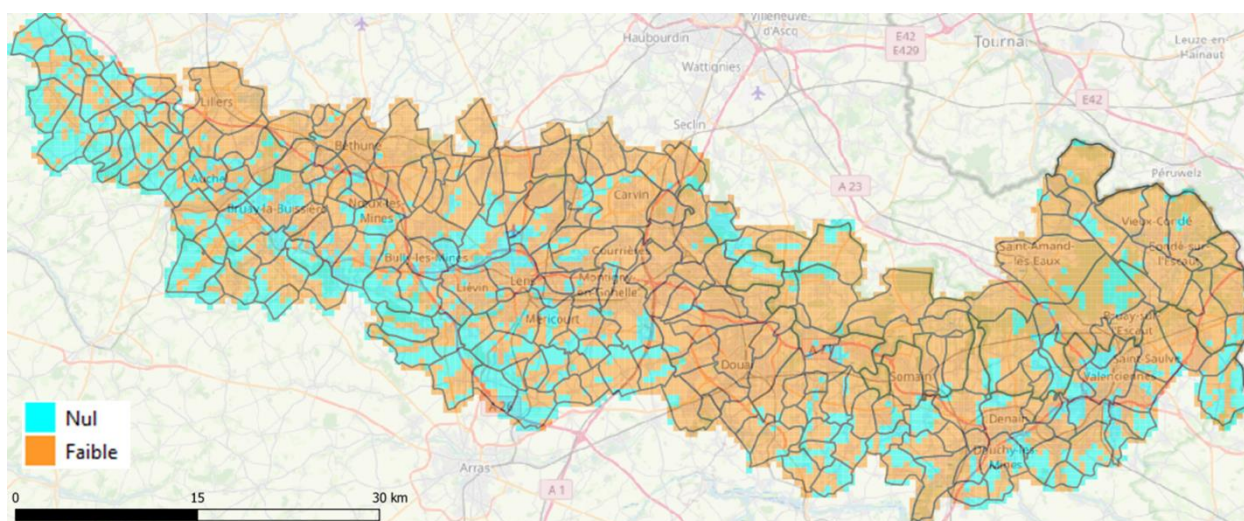


Illustration 33 – Niveaux d'aléa pour le phénomène « problèmes liés à la réinjection » pour la tranche 0 – 50 m

Le facteur aggravant est estimé à un niveau faible (« 2 ») pour les doublets. Ce risque est considéré comme « nul » pour les sondes géothermiques verticales.

5.9. PHENOMENE « PRESENCE ET EMISSION DE GAZ DE MINE »

5.9.1. Phénomène redouté

Contexte

L'exploitation du gisement houiller (du bassin minier situé dans les Hauts-de-France) s'est progressivement réduite au cours de la deuxième moitié du XX^e siècle jusqu'à définitivement s'achever en décembre 1990. Pour autant, la libération de gaz de mine dans les galeries (le « grisou ») ne s'est pas arrêtée avec la fin des travaux miniers. La détente des terrains générés par l'exploitation des veines de charbon et par le foudroiement des galeries permet au « grisou » qui s'y trouve piégé (sous forme adsorbée) de s'en dégager puis de migrer à travers les fractures du sous-sol. De plus, comme indiqué dans INERIS (2007), le gisement houiller du bassin minier des Hauts-de-France est considéré comme fortement grisouteux voire, dans plusieurs secteurs, très fortement grisouteux. Le gaz de mine s'accumule encore dans les vides résiduels des anciennes exploitations minières, ainsi que dans le matériau fracturé qui les surplombe. Cette situation est illustrée par l'exploitation de gaz par la société Gazonor sur une grande partie du Bassin minier. Ce processus de dégagement et de migration du gaz se poursuivra tant que ne sera pas atteint l'équilibre entre la teneur en grisou du massif de charbon encore en place, la pression hydraulique des eaux du fond et le réservoir de gaz constitué par les vides des exploitations.

L'illustration 34 montre une coupe de terrain dans laquelle il apparaît :

- L'emplacement d'une veine de charbon dont les tailles ont été foudroyées : le terrain en place est chaotique, et des vides (où le grisou peut s'accumuler) sont susceptibles d'y subsister ;
- Un terrain, au-dessus des veines, fortement fracturé, du fait, tout d'abord, de l'exploitation des veines de charbon et des techniques employées, et d'autre part, du foudroyage des travaux ;
- La nappe du Houiller au niveau de calcaire carbonifère d'âge dinantien, sous le gisement houiller, qui remonte au cours du temps et qui, à plus ou moins long terme, ennoiera complètement les veines de charbon.

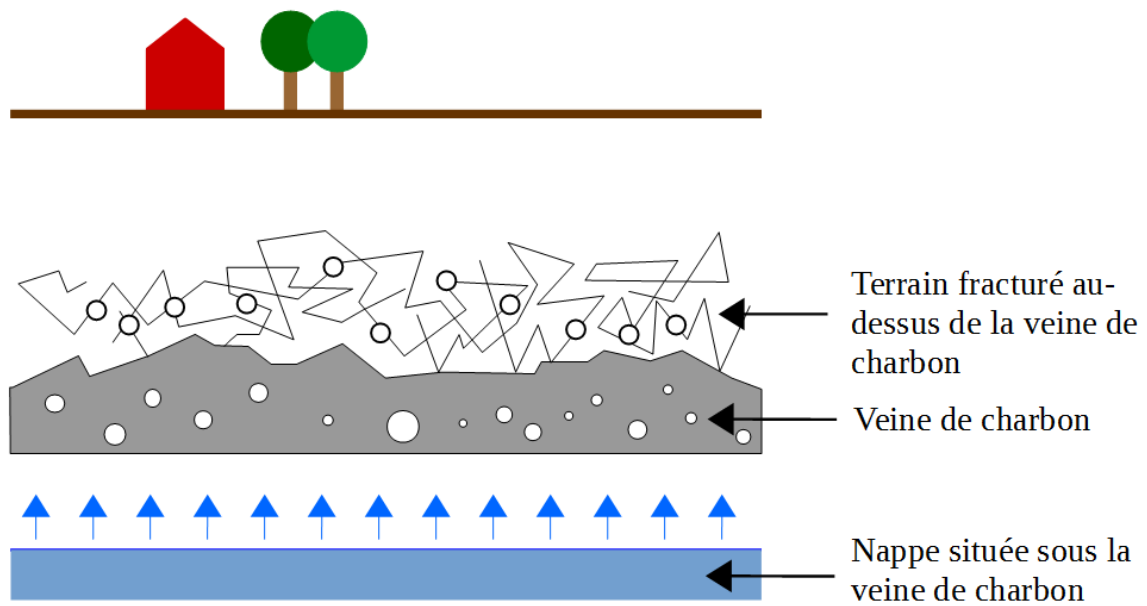


Illustration 34 – Coupe schématisée du terrain d'étude au droit des travaux miniers

Lorsque les travaux miniers seront complètement enoyés, la pression de l'eau sur les veines de charbon empêchera le grisou de se libérer dans les vides miniers puis de migrer vers la surface par des chemins préférentiels. Cependant, cet état de fait ne surviendra vraisemblablement pas avant 2300 (BURGEAP-ISSEP-IFP (1999)). En attendant, la nappe (en remontant) aura tendance à repousser le gaz de mine vers les couches supérieures où il s'accumulera et sera sous pression. Des poches à forte teneur en grisou pourraient ainsi se créer au sein des terrains du bassin minier. Dans le cadre de ces missions après-mine, l'Etat a mis en place un réseau de surveillance relatif aux émissions de gaz de mine sur le bassin minier du Nord-Pas-de-Calais qui a vocation à évoluer avec la remontée de la nappe du Houiller. Cependant, malgré ces dispositions, à la faveur d'un forage GMI qui se ferait à proximité d'un terrain fracturé et qui en augmenterait les désordres (par exemple, en fracturant les matériaux en place qui s'opposaient jusqu'alors à la remontée du gaz de mine), le grisou pourrait migrer jusqu'à la surface et provoquer des accidents. L'Illustration 35 et Illustration 36 décrivent ce mécanisme.

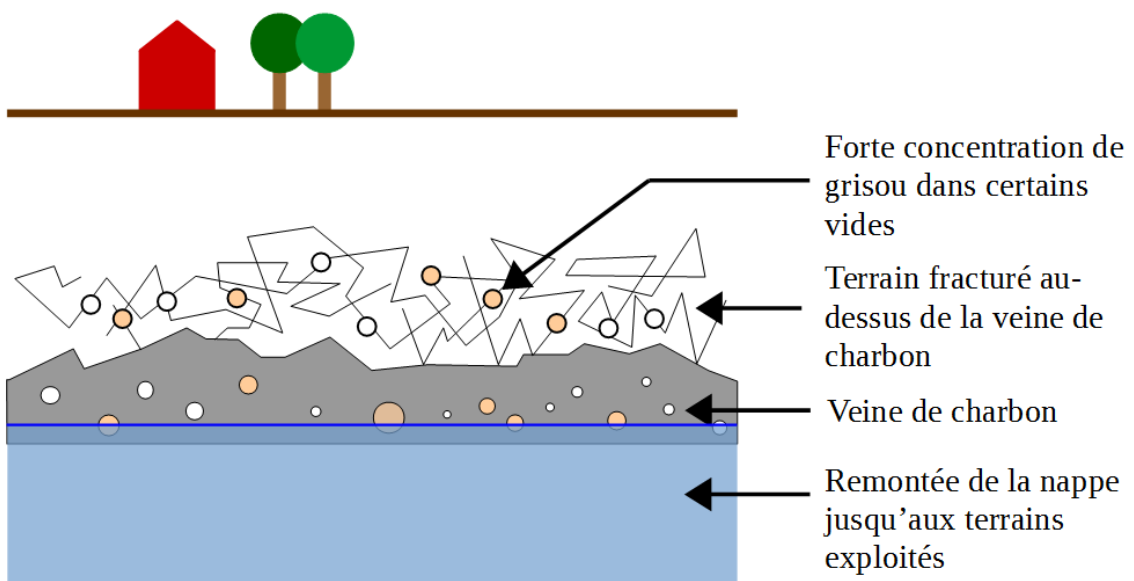


Illustration 35 – Remontée de la nappe au sein des terrains exploités

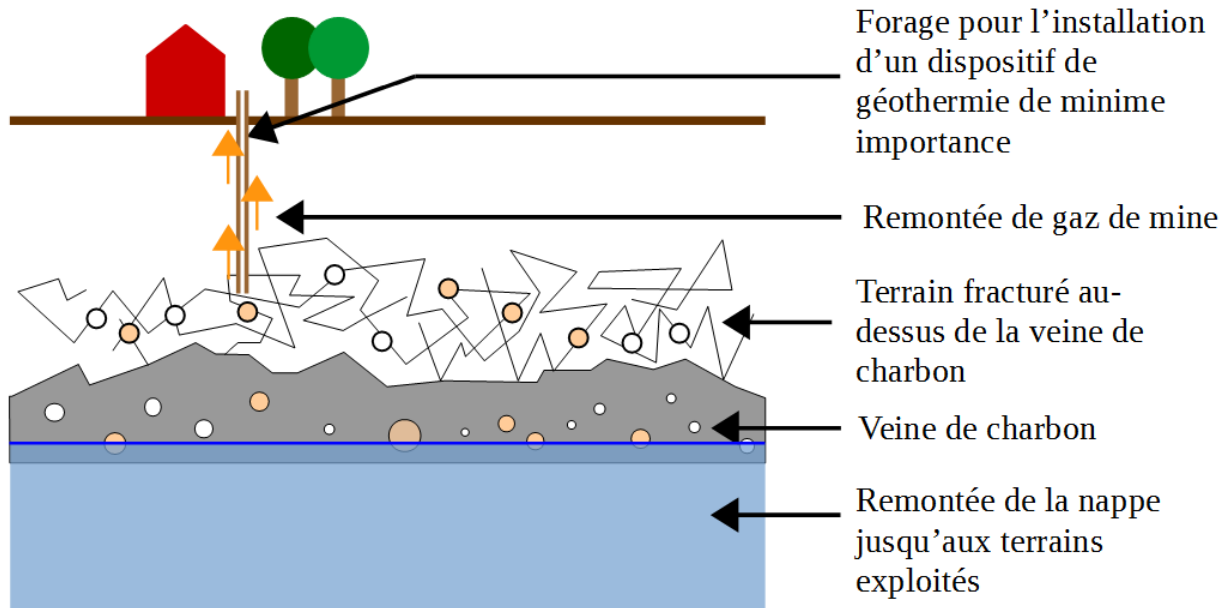


Illustration 36 – Remontée de gaz de mine à la faveur d'un forage géothermique

Caractéristiques du gaz de mine

Le gaz de mine (libéré par les gisements houillers) est un mélange de méthane et d'autres gaz (comme le dioxyde carbone et l'éthane). Dans le cas du bassin minier des Hauts-de-France, le méthane représente de 90 à 99 % (en volume) du gaz de mine libéré, le « grisou » (INERIS (2007)).

Le méthane est un gaz indolore, incolore, sans saveur et deux fois moins dense que l'air : il a donc tendance à s'accumuler dans les points hauts et à migrer vers la surface. Or, au contact de l'air, il est inflammable, voire explosif. En effet, dès lors que sa teneur (dans le mélange qu'il forme avec l'air) est comprise entre 5 et 15 %, il y a inflammation, ce qui peut provoquer des effets thermiques (flux de chaleur) et mécaniques (onde de pression) dangereux pour les personnes et dommageables pour les biens.

Enfin, le gaz de mine peut contenir des gaz tels que le monoxyde de carbone et du sulfure d'hydrogène. Ceux-ci peuvent être toxiques et asphyxiants, voire (lorsqu'ils sont présents à des teneurs élevées) avoir un impact létal.

Cas d'Arkwright Town

Arkwright Town est un village situé au nord-est du Derbyshire, en Angleterre. Ce village a été fondé à la fin du dix-neuvième siècle pour loger les mineurs de l'exploitation de charbon voisine. En novembre 1988, il est constaté des émanations de méthane dans plusieurs foyers : 110 personnes (soit 56 habitations) sont alors évacuées pendant deux semaines pour sécuriser les lieux.

Suite aux travaux réalisés, les habitants peuvent revenir dans leurs propriétés. Mais à l'automne 1989, nouvelle alerte : un feu se déclare dans la partie à ciel ouvert des houillères voisines. Celui-

ci perdurera 4 semaines durant lesquelles on craindra qu'il provoque l'explosion du méthane présent dans le sous-sol.

Il est alors décidé, au début des années 1990, de procéder à l'évacuation définitive du village et de la démolition de celui-ci.

Ainsi, des émanations non contrôlées de gaz de mine (en dehors des dramatiques « coups de grisou » lors de l'exploitation d'un gisement houiller) ont déjà eu, dans le passé, des conséquences économiques (construction de logements) et sociales (déplacement de population) majeures.

Terrain de recouvrement

Comme il a déjà été évoqué précédemment, l'exploitation du gisement houiller a provoqué une fracturation, une fissuration et une détente des terrains sus-jacents (INERIS (2007)). De ce fait, ceux-ci sont loin d'être des remparts parfaits à la migration du gaz de mine vers la surface. Toutefois, il demeure que, plus les terrains de recouvrement (c'est-à-dire les terrains situés au-dessus des veines de charbon) sont épais, plus ils opposent une résistance élevée à la migration du gaz de mine. Ainsi, il est considéré qu'un terrain de recouvrement d'épaisseur supérieure à 200 mètres empêche toute remontée de gaz de mine jusqu'à la surface. Par contre, une épaisseur de moins de 50 mètres ne se révélera pas une protection significative contre des émanations de gaz de mine.

Dans INERIS (2007), il est proposé les limites suivantes d'influence des travaux miniers :

- 50 mètres au toit des exploitations, comme l'étendue de l'influence maximale ;
- 150 mètres au toit des exploitations, comme la distance limitant une modification importante possible des propriétés aérauliques du massif ;
- 200 mètres au toit des exploitations, comme l'enveloppe maximale limitant le volume influencé au toit des zones exploitées. Au-delà de cette limite, les terrains sont considérés comme peu ou non modifiés du point de vue de leurs propriétés aérauliques ou hydrauliques.

Ces valeurs seront reprises dans l'élaboration de la méthodologie visant à construire la couche du phénomène « présence et émission de gaz de mine ».

Couche de dièves

Les dièves sont des formations marno-argileuses. Ce sont plus précisément, comme indiqué dans le chapitre 3.2 du présent rapport, des marnes gris-verdâtres dont l'épaisseur moyenne oscille entre 30 et 40 m, mais qui peut localement atteindre 20 m (Valenciennois) ou 50 m et plus (secteur d'Onnaing Saint-Saulve). Ces dièves sont peu perméables et se situent sous la nappe de la craie (dont il sera question au prochain paragraphe). Du fait de leur nature (des argiles), ces dièves ont été moins sensibles à la fracturation et à la fissuration lors de l'exploitation du gisement houiller que le reste des terrains de recouvrement. Ainsi, comme indiqué dans INERIS (2007), si leur puissance est suffisante (c'est-à-dire, décamétrique), il peut être considéré que les formations marno-argileuses des dièves ont conservé leur continuité. Dès lors, elles s'avèrent des obstacles importants à la migration verticale du gaz vers la surface. Les dièves sont donc prises en compte dans la construction de la couche relative au phénomène « présence et émission de gaz de mine » : elles permettent de réduire le niveau de susceptibilité de ce phénomène lorsqu'il est constaté une épaisseur suffisante de ces formations entre la limite

inférieure de la cartographie considérée (par exemple, 100 mètres quand il est étudié la cartographie GMI pour la tranche de profondeur 10 – 100 mètres) et les veines de charbon.

Couverture hydraulique

Le terrain houiller du bassin minier du Nord-Pas-de-Calais est surmonté d'une nappe aquifère : la nappe de la craie. Cette nappe est un obstacle à la migration verticale du gaz de mine. Associée à la couche des dièves (dont il peut être supposé qu'elle est saturée en eau), elle forme la couverture hydraulique. Cette couverture hydraulique est donc prise en compte dans la construction de la couche relative au phénomène « présence et émission de gaz de mine ». Elle permet de réduire le niveau de susceptibilité de ce phénomène lorsqu'il en est constaté une puissance suffisante entre la limite inférieure de la cartographie considérée (par exemple, 100 mètres quand il sera étudié la cartographie GMI pour la tranche de profondeur 10 – 100 mètres) et les veines de charbon.

5.9.2. Qualification du phénomène

La cartographie de la susceptibilité du phénomène (sa probabilité d'occurrence) est réalisée à partir des données suivantes :

- La profondeur P_v , au niveau de la maille considérée, de la veine la plus proche de la surface ;
- La profondeur $P_{dièves}$, au niveau de la maille considérée, du toit de la couche des dièves ;
- L'épaisseur $E_{dièves}$, au niveau de la maille considérée, de la couche des dièves ;
- La profondeur P_h , au niveau de la maille considérée, du toit de la couverture hydraulique ;
- La puissance P_{uh} , au niveau de la maille considérée, de la couverture hydraulique.

A partir de ces données, trois paramètres ont été déterminés afin de qualifier le phénomène :

- épaisseur des terrains de recouvrement : il s'agit de l'épaisseur de sol compris entre la limite supérieure (X) de la tranche de profondeur considérée (par exemple 100 m, s'il est étudié la tranche de profondeur 10 – 100 m) et la veine la plus proche de la surface. Autrement dit, il s'agit de la différence $P_v - X$. Dans les cas où cette différence est négative, cela signifie que l'épaisseur des terrains de recouvrement est nulle et il est alors pris 0 comme valeur pour ce paramètre (au lieu de la différence $P_v - X$ qui, comme cela vient d'être expliqué, n'a plus de sens physique). L'illustration 37 présente ce qu'il est entendu par terrain de recouvrement ;
- épaisseur protectrice de la couche des dièves : il s'agit de l'épaisseur de la couche des dièves comprise entre la limite supérieure (X) de la tranche de profondeur considérée et la profondeur de la veine la plus proche de la surface (P_v). Celle-ci est nulle si la couche des dièves se situe, sur toute son épaisseur, au-dessus de la limite supérieure (X) de la tranche de profondeur considérée (autrement dit, si $P_{dièves} + E_{dièves} < X$). Ce cas peut se produire même si $E_{dièves}$ n'est pas nulle. L'illustration 38 présente ce qu'il est entendu par épaisseur protectrice de la couche des dièves ;
- puissance protectrice de la couverture hydraulique : il s'agit de la hauteur de couverture hydraulique située entre la limite supérieure (X) de la tranche de profondeur considérée et la profondeur de la veine la plus proche de la surface (P_v). L'illustration 39 présente ce qu'il est entendu par puissance protectrice de la couverture hydraulique.

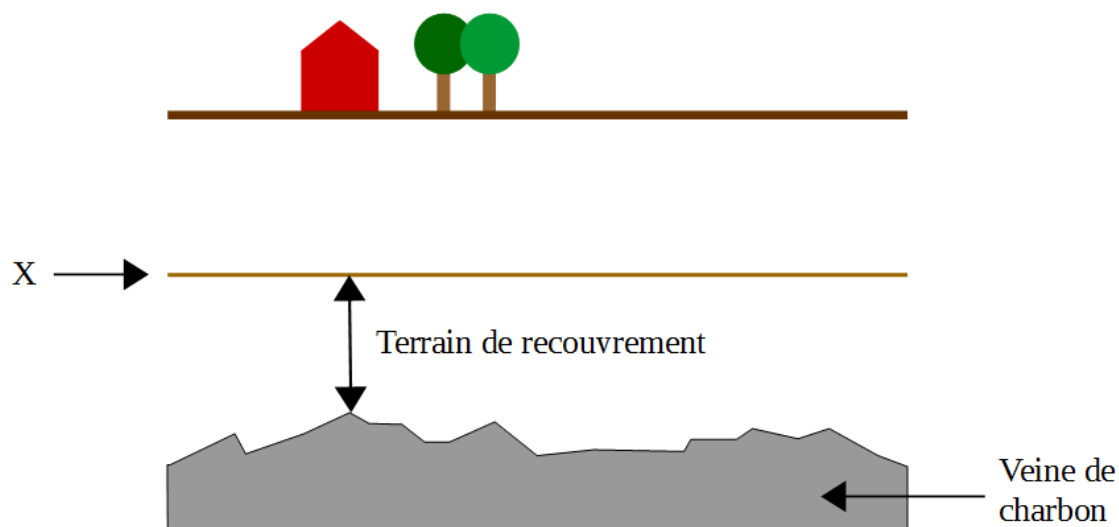


Illustration 37 – Notion de terrain de recouvrement

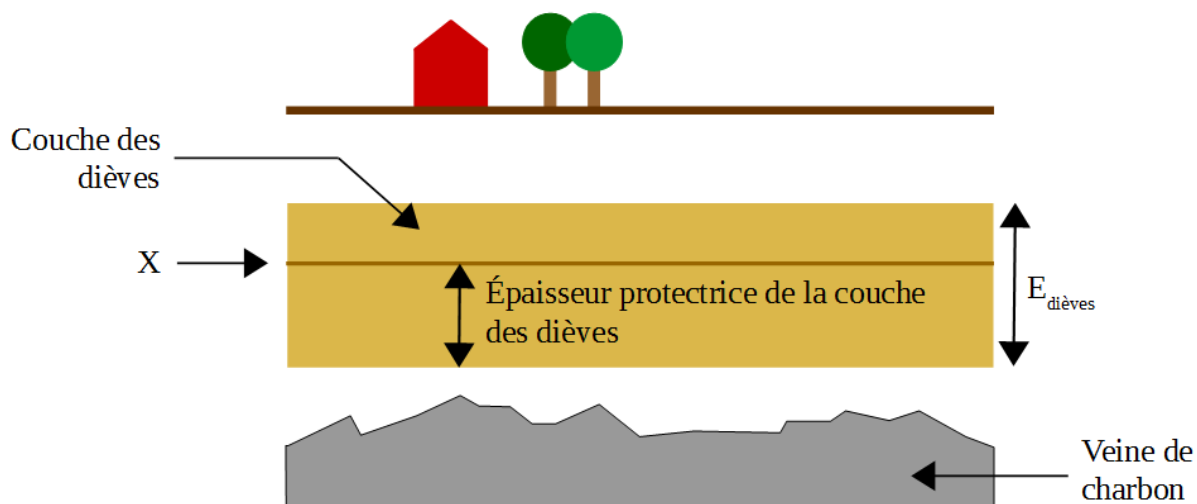


Illustration 38 – Notion d'épaisseur protectrice de la couche des dièves

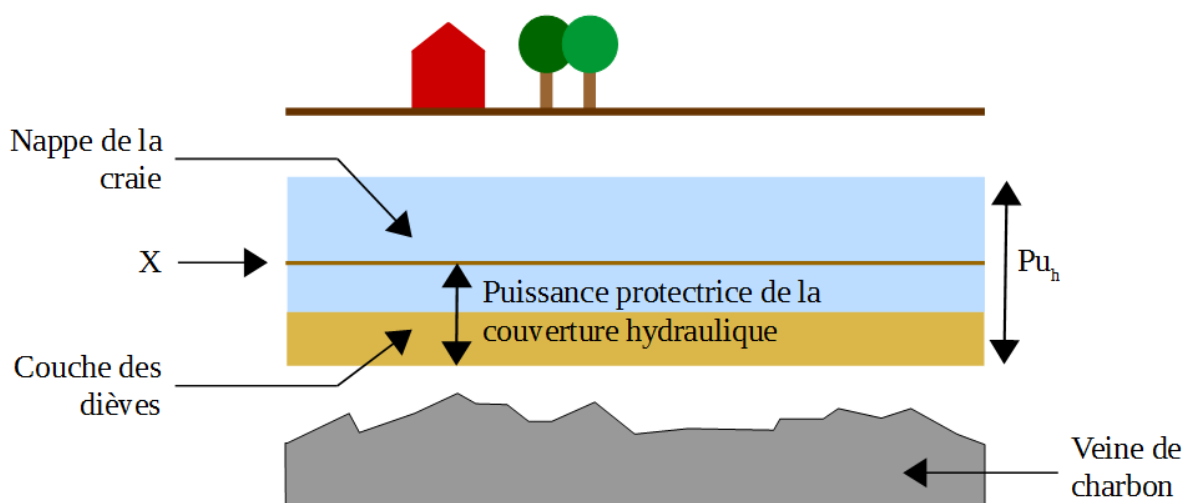


Illustration 39 – Notion de puissance protectrice de la couverture hydraulique

Les tableaux 13, 14 et 15 précisent la manière dont cette qualification est établie à partir des trois paramètres définis ci-dessus.

<i>Épaisseur protectrice des dièves inférieure à 25 m</i>		Épaisseur des terrains de recouvrements (m)			
		0 - 50	50 - 150	150 - 200	> 200
Puissance protectrice de la couverture hydraulique (m)	0 - 75	Susceptibilité très forte	Susceptibilité forte	Susceptibilité moyenne	Susceptibilité nulle
	75 - 100	Configuration impossible	Susceptibilité moyenne	Susceptibilité nulle	Susceptibilité nulle
	> 100	Configuration impossible	Susceptibilité nulle	Susceptibilité nulle	Susceptibilité nulle

Tableau 13 – Susceptibilité du phénomène pour une épaisseur protectrice des dièves inférieure à 25 mètres

<i>Épaisseur protectrice des dièves comprise entre 25 et 50 m</i>		Épaisseur des terrains de recouvrements (m)			
		0 - 50	50 - 150	150 - 200	> 200
Puissance protectrice de la couverture hydraulique (m)	0 - 75	Susceptibilité forte	Susceptibilité moyenne	Susceptibilité nulle	Susceptibilité nulle
	75 - 100	Configuration impossible	Susceptibilité nulle	Susceptibilité nulle	Susceptibilité nulle
	> 100	Configuration impossible	Susceptibilité nulle	Susceptibilité nulle	Susceptibilité nulle

Tableau 14 – Susceptibilité du phénomène pour une épaisseur protectrice des dièves comprise entre 25 et 50 mètres

<i>Épaisseur protectrice des dièves supérieure à 50 m</i>		Épaisseur des terrains de recouvrements (m)			
		0 - 50	50 - 150	150 - 200	> 200
Puissance protectrice de la couverture hydraulique (m)	0 - 75	Configuration impossible	Susceptibilité nulle	Susceptibilité nulle	Susceptibilité nulle
	75 - 100	Configuration impossible	Susceptibilité nulle	Susceptibilité nulle	Susceptibilité nulle
	> 100	Configuration impossible	Susceptibilité nulle	Susceptibilité nulle	Susceptibilité nulle

Tableau 15 – Susceptibilité du phénomène pour une épaisseur protectrice des dièves supérieure à 50 mètres

Un tampon de 1000 m a été appliqué autour des mailles à susceptibilité non nulle. Dans les mailles concernées où la susceptibilité était nulle elle a été portée à faible. En fin de traitement, les mailles à susceptibilité faible ont été augmentées à moyenne s'il n'y avait pas d'autre phénomène présent, de manière à garantir le classement en zone orange des mailles susceptibles d'être affectées par la présence et émission de gaz de mine.

5.9.3. Données utilisées pour le traitement

Présentation des données utilisées

Les données utilisées pour réaliser la couche relative au phénomène « présence et émission de gaz de mine » sont présentées ci-dessous :

- Les données sur les profondeurs des veines de charbon issues des archives de Charbonnages de France et qui, en particulier, ont aussi été utilisées par GEODERIS pour réaliser les études des aléas miniers sur le bassin minier du Nord et du Pas-de-Calais ;
- L'Atlas de Potentiel Géothermique très basse énergie des aquifères de la région Nord-Pas-de-Calais réalisé par le BRGM en 2011 (Picot J. et Pira K. (2011)).

Dans les cartes d'aléas miniers, il apparaît des aléas « émissions de gaz de mine ». Ces aléas « émissions gaz de mine » n'ont toutefois pas été intégrés pour construire la couche relative au phénomène « présence et émission de gaz de mine » :

- d'une part, parce que la plupart de ces aléas « émissions gaz de mine » interceptent des mailles où le niveau de susceptibilité du phénomène « présence et émission de gaz de mine » est déjà non-nul lorsqu'il est utilisé la méthodologie présentée ci-dessus pour qualifier le phénomène. Seuls quelques-uns de ces aléas « émissions gaz de mine » intersectent des mailles où le niveau de susceptibilité du phénomène « présence et émission de gaz de mine » est nul ;
- d'autre part, parce que ces aléas « émissions gaz de mine » sont associés à des ouvrages de décompression autour desquels les travaux sont déjà réglementés et dans certains cas interdits. Ainsi, même si la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance ne les recense pas, les forages ne pourront se faire sans que les autorités compétentes aient donné leur accord.

Traitement des données

Les fichiers issus des archives de Charbonnages de France ont été utilisés pour associer à chaque maille, parmi les veines de charbon la traversant, la profondeur de celle qui s'approche le plus de la surface. Plus précisément :

- dans les fichiers étudiés, les veines sont représentées par des nuages de points ;
- Pour chacun des points d'un nuage, la profondeur de la veine est connue ;
- Par interpolation de ces profondeurs (à partir du moment où il y a plus de deux points dans le nuage), il est obtenu une surface continue : en chacun des points de cette surface, il est connu la profondeur de la veine ;
- En recensant toutes les veines interceptant une maille, il est alors possible de déterminer le point de toutes ces veines de charbon qui se situe le plus proche de la surface : la profondeur de ce point est alors associée à la maille, c'est cette valeur qui sera utilisée pour déterminer le niveau de susceptibilité du phénomène « présence et émission de gaz de mine » de la maille.

L'Atlas de Potentiel Géothermique a, quant à lui, été utilisé pour associer à chaque maille :

- l'épaisseur de la couche des dièves : l'épaisseur prise en compte est celle minimale qui est constatée au niveau de la maille considérée ;
- la profondeur de la couche des dièves : la profondeur prise en compte est celle maximale constatée au niveau de la maille considérée ;
- la puissance de la couverture hydraulique : la puissance prise en compte est la somme de la puissance minimale de la nappe de la craie (au niveau de la maille considérée) et de l'épaisseur minimale de la couche des dièves (au niveau de la maille considérée) ;
- La profondeur de la couverture hydraulique : la profondeur prise en compte est celle maximale de la nappe de la craie constatée au niveau de la maille considérée.

5.9.4. Cotation et cartographie du phénomène « présence et émission de gaz de mine »

La susceptibilité de ce phénomène est cartographiée pour les trois tranches de profondeur 10 – 50 m, 10 – 100 m et 10 – 200 m. D'une part, chaque niveau de susceptibilité est affecté d'une intensité d'autant plus élevée que le niveau de susceptibilité est fort (cf. tableau 14).

Niveau de susceptibilité du phénomène	Nul	Faible	Moyen	Fort et très fort
Valeur du niveau de susceptibilité	0	4	7	10

Tableau 16 – Valeurs des niveaux de susceptibilité du phénomène

D'autre part, compte-tenu de la nature du phénomène redouté et des impacts potentiels liés à ce type de phénomène, le facteur aggravant potentiel est estimé de niveau moyen (2) pour les sondes géothermiques verticales (SVG) et pour les doublets sur nappe.

Les couches du phénomène « présence et émission de gaz de mine » sont données ci-dessous (Illustration 40 à Illustration 42).

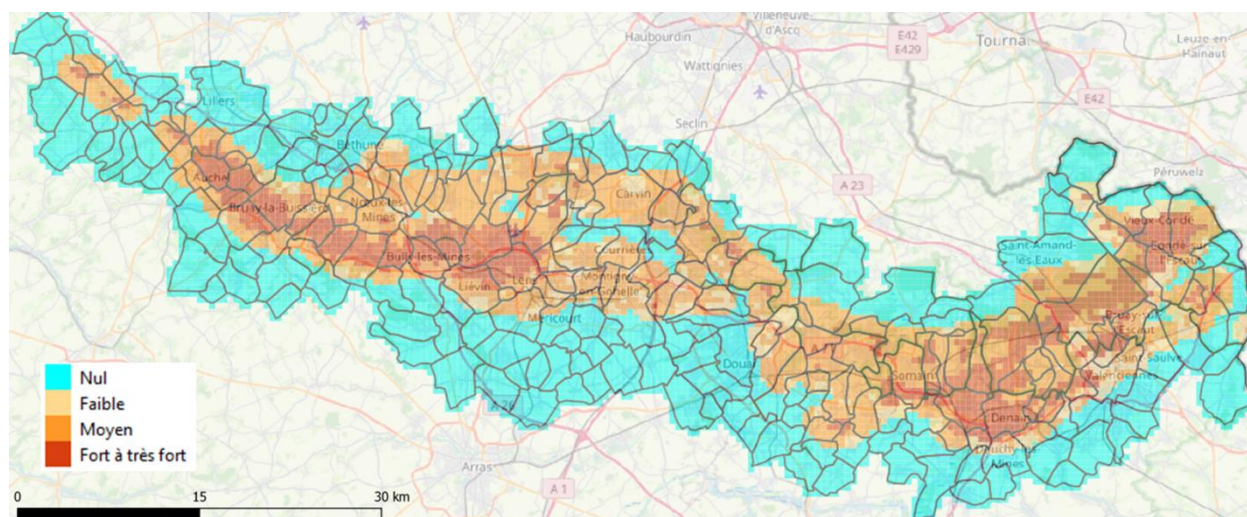


Illustration 40 Niveaux d'aléa pour le phénomène « présence et émission de gaz de mine » - Tranche de profondeurs 10-50 m.

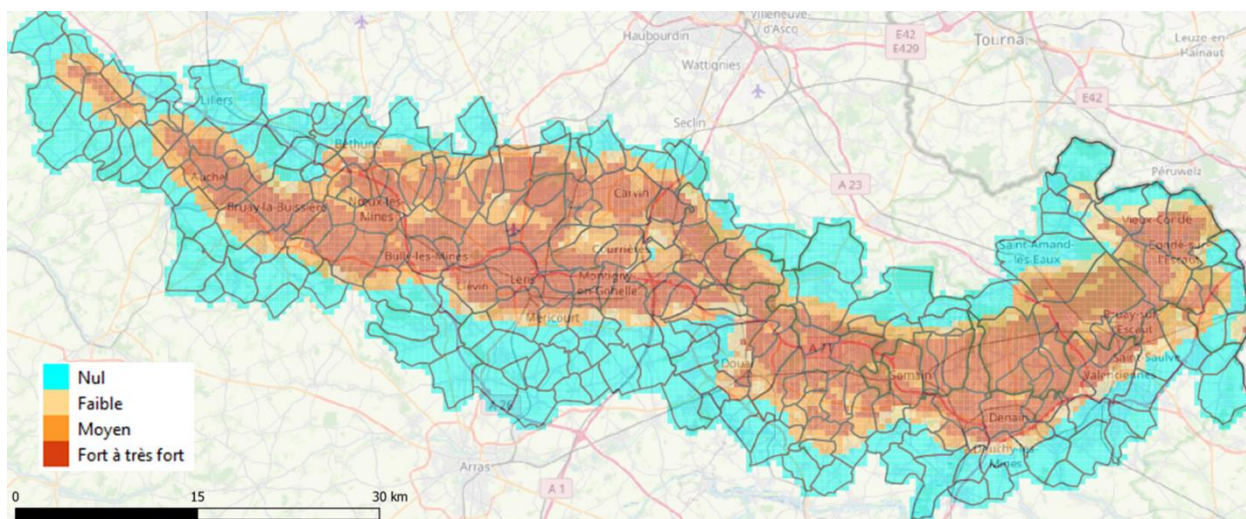


Illustration 41 – Niveaux d'aléa pour le phénomène « présence de gaz de mine » - Tranche de profondeurs 10-100 m.

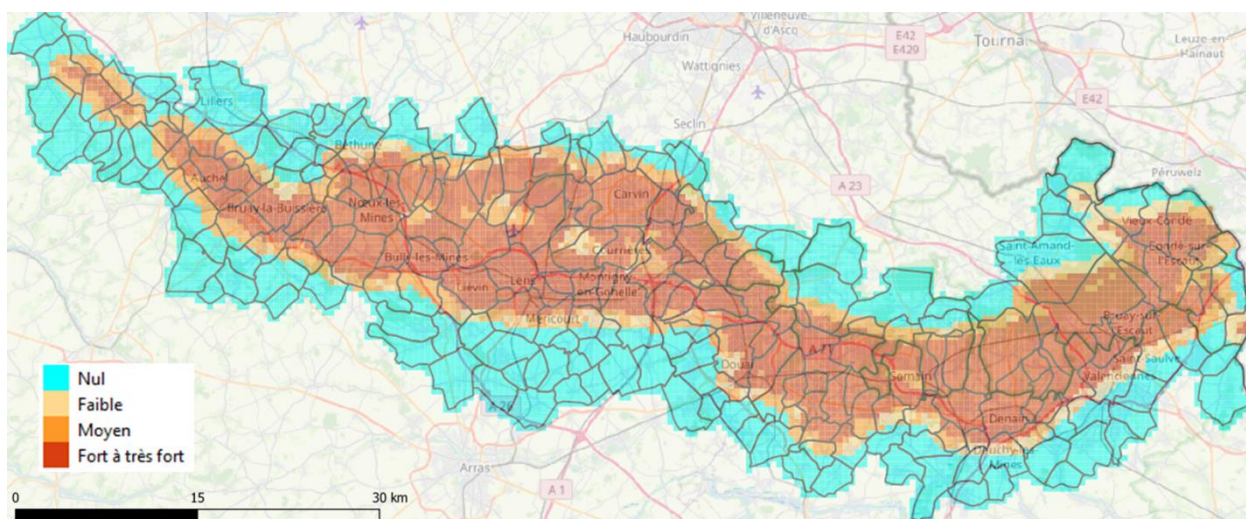


Illustration 42 – Niveaux d'aléa pour le phénomène « présence et émission de gaz de mine » - Tranche de profondeurs 10-200 m.

6. Cartes des zones réglementaires régionales relatives à la géothermie de minime importance

Conformément à la méthodologie exposée dans le chapitre 3 du présent rapport, des notes finales ont été calculées par maille (maille de 500 x 500 m) en fonction de la cotation attribuée (niveaux et facteurs aggravants), aboutissant à un classement en zone verte, orange ou rouge (Vert : 0 – 13, Orange : 14 – 41, Rouge : >41). Ainsi, six cartes ont été réalisées en fonction de la tranche de profondeur (10-50 m, 10-100 m et 10-200 m) et du type d'ouvrage géothermique (échangeur ouvert, échangeur fermé) envisagé.

Sur chaque maille est calculée une note pour chacun des neuf phénomènes selon la cotation décrite au chapitre 3. Cette note est ensuite multipliée par le facteur aggravant lié au dispositif retenu (doublet ou sonde géothermique verticale). En additionnant les neuf notes, on obtient ainsi une valeur finale qui détermine le classement de la maille en zone réglementaire verte, orange ou rouge. Ces calculs sont effectués pour trois tranches de profondeur. Il en résulte six cartes des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance correspondant :

- Aux dispositifs géothermiques évalués ;
- Pour trois tranches de profondeur.

6.1. PRISE EN COMPTE DE L'ALEA « PRESENCE ET EMISSION DE GAZ DE MINE » DANS LA PONDERATION

En fonction du potentiel destructeur d'une fuite de gaz de mine et de la difficulté de sa maîtrise, la prise en compte du gaz de mine a été réalisée sur la base d'objectifs de protection fixés comme suit :

- Une classification au minimum « orange » dans le cas d'un aléa de gaz de mine « moyen » (valeur du niveau de susceptibilité moyen fixée à 7)

La prise en considération du phénomène « cavités minières » dans la cotation du phénomène « présence et émission de gaz de mine » s'explique selon le raisonnement suivant : la méthodologie développée par le CEREMA prend en compte des facteurs passifs (la distance entre le fond du forage et le toit des formations géologiques renfermant du charbon, d'une part, et la présence de configurations géologiques pouvant agir comme barrière naturelle d'autre part) et les superpose à la carte des communes concernées par des travaux miniers. Or, en l'absence d'un recensement complet et d'une cartographie de tous les ouvrages souterrains miniers (par exemple, les galeries de service), cela comprend une source importante d'incertitude. De ce fait, il a été décidé de prendre en compte les zones identifiées comme exposées au risque d'affaissement/effondrement des cavités minières afin de réduire cette incertitude. Il s'agit dans ces cas de secteurs où la présence de cavités minières est avérée ou très probable et donc de zones où la présence d'émetteurs et réservoirs potentiels de gaz de mine est beaucoup plus probable.

Une superposition de ces deux aléas a donc été considérée dans la cotation des phénomènes redoutés. Les deux aléas ont ainsi le même facteur de pondération afin de faciliter la prise en compte dans le calcul de la classification.

6.2. RESULTAT DE LA PONDERATION

Les six cartes réalisées sont présentées ci-dessous : il s'agit des Illustrations Illustration 43 à Illustration 48. La répartition des superficies des zones verte, orange et rouge obtenues, calculée à partir du nombre de mailles concernées, est indiquée dans le Tableau 17.

	Systèmes ouverts (Doublets sur nappe)s	Systèmes fermés (Sondes géologiques verticales)
10 - 50 m	45.5%	44.9%
	53.0%	53.8%
	1.4%	1.2%
10 - 100 m	43.2%	39.6%
	53.8%	57.3%
	3.0%	3.1%
10 - 200m	41.8%	38.1%
	50.4%	54.0%
	7.8%	7.8%

Tableau 17 – Répartition procentuelle de chaque classe.

Tranche de profondeurs 10-50 m :

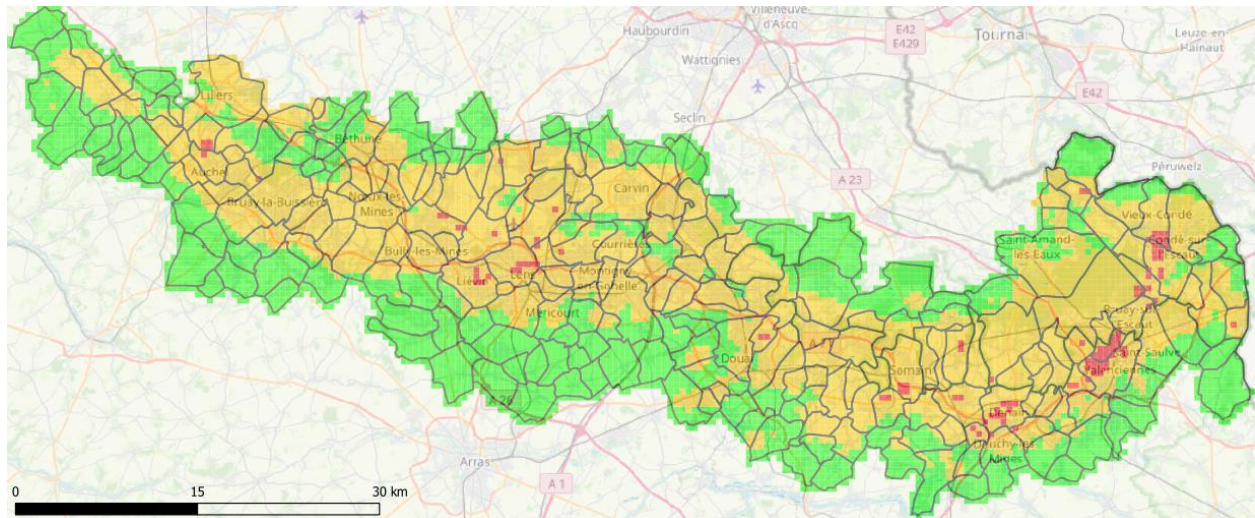


Illustration 43 – Classement final pour les doublets sur nappe. Tranche de profondeurs : 10-50 m

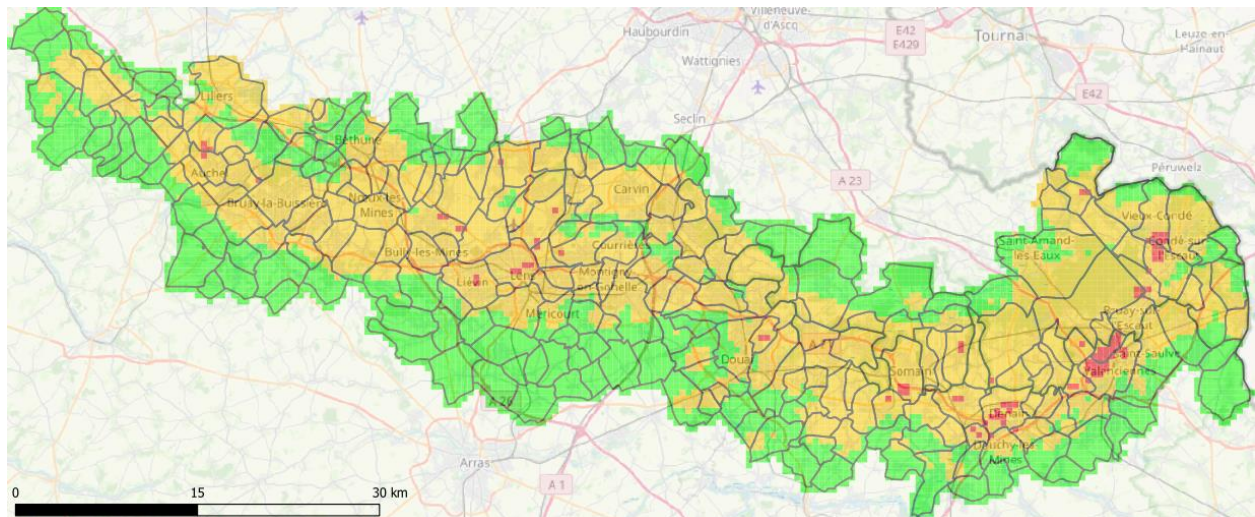


Illustration 44 – Classement final pour les sondes géothermiques verticales. Tranche de profondeurs : 10-50 m

Tranche de profondeurs 10-100 m :

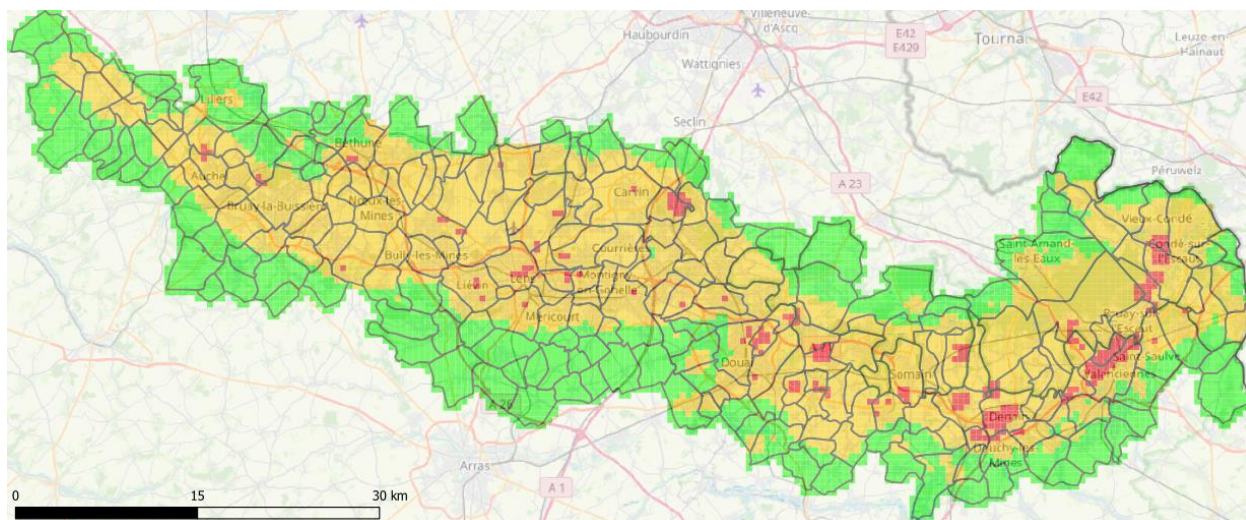


Illustration 45 – Classement final pour les doublets sur nappe. Tranche de profondeurs : 10-100 m

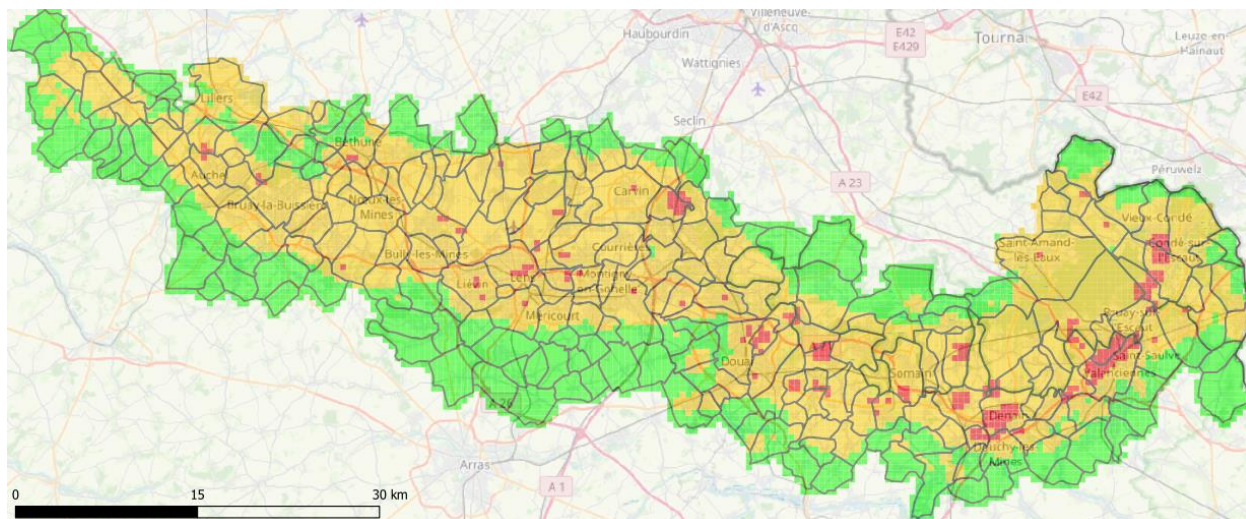


Illustration 46– Classement final pour les sondes géothermiques verticales. Tranche de profondeurs : 10-100 m

Tranche de profondeurs 10-200 m :

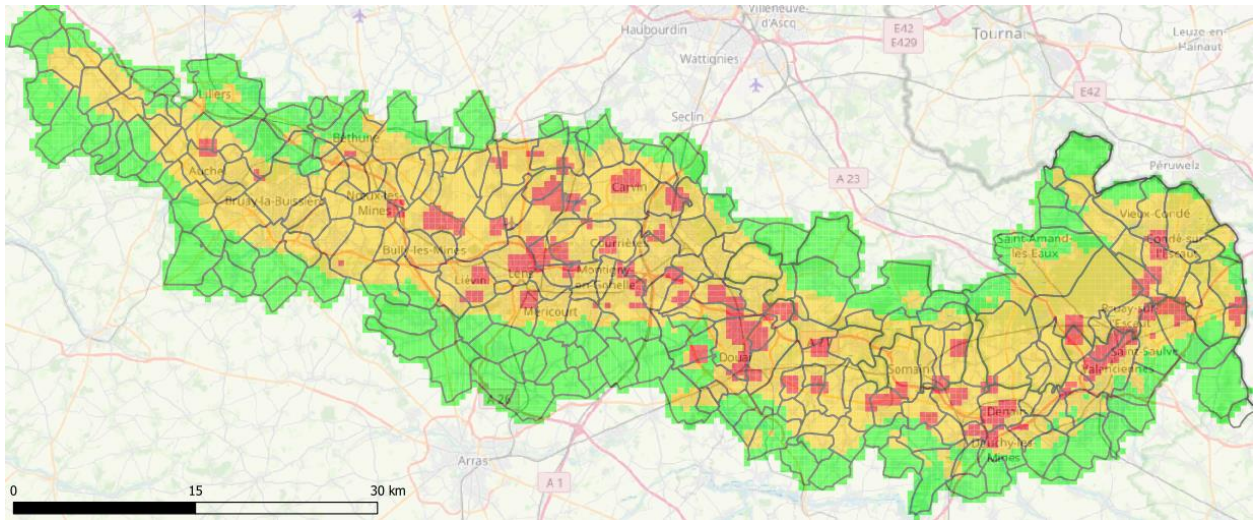


Illustration 47 – Classement final pour les doubles sur nappe. Tranche de profondeurs : 10-200 m

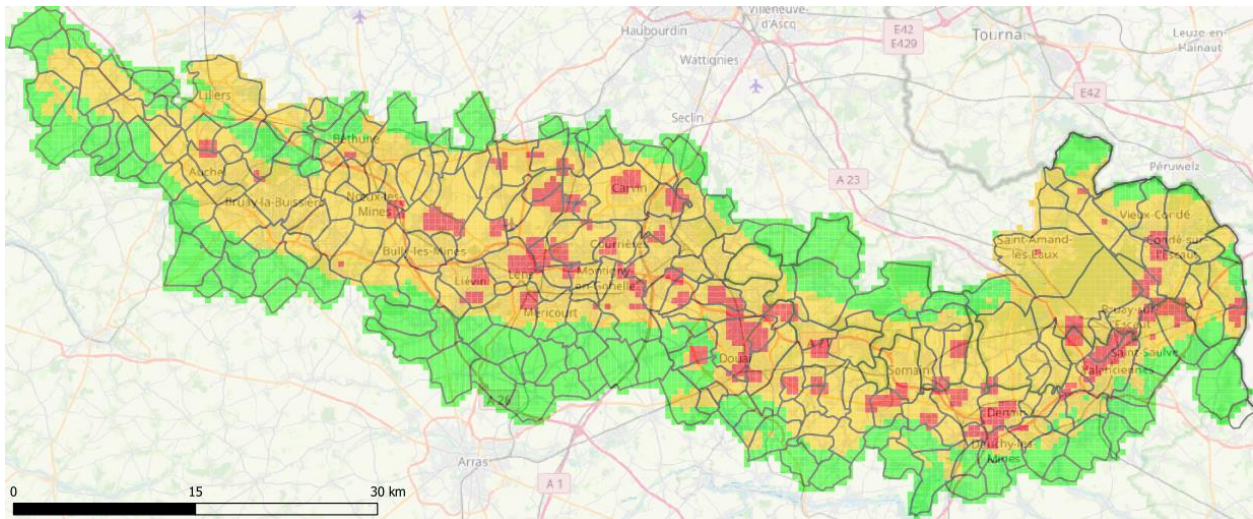


Illustration 48 – Classement final pour les sondes géothermiques verticales. Tranche de profondeurs : 10-200 m

6.3. COMPARAISON AVEC LA CARTE NATIONALE

En termes d'extension des zones « à contrainte » (zones en rouge et orange) la nouvelle cartographie constitue une augmentation importante, comme il est possible de voir dans les Tableau 18 et Tableau 19 (les Illustration 49 et Illustration 50 montrent pour rappel les cartes originales établies pour la tranche de profondeur 10 – 200 m suivant la méthode « nationale »). Ceci provient du fait qu'il a été pris en compte, pour construire les nouvelles couches, des phénomènes locaux qui n'étaient pas pris en compte dans la carte nationale d'origine, notamment le phénomène « présence et émission de gaz de mine ».

La carte du Bassin houiller diminue sensiblement la part des zones vertes du territoire, au profit des zones orange et voit l'apparition de zones rouges, de 1.2% à 7.8% selon la carte. Cette régionalisation de la carte réglementaire a pour effet de mettre davantage en évidence les zones à risque du Bassin houiller vis-à-vis de la réalisation de forages géothermiques, et en particulier la spécificité de l'émission de gaz de mine, phénomène non pris en considération lors de

l'élaboration de la carte nationale. En tant qu'aléa soumis à de grandes incertitudes, il nécessite un avis d'expert et explique en grande partie l'extension majoritaire de la couleur orange.

Cela correspond à ce qui était attendu au début de l'étude : la zone d'étude du Bassin houiller a été choisie en partie par son contexte géologique et historique particulier, qui ne pouvait pas être reflétée correctement avec la méthodologie utilisée à une échelle nationale.

	Systèmes ouverts					
	Nouveau classement			Classement national		
	Vert	Orange	Rouge	Vert	Orange	Rouge
10-50m	45.5%	53.0%	1.4%	90.4%	9.6%	0.0%
10-100m	43.2%	53.8%	3.0%			
10-200m	41.8%	50.4%	7.8%			

Tableau 18 – Comparaison du nouveau classement (dans lequel les phénomènes locaux sont pris en compte) avec le classement dit « national » pour le doublet sur nappe.

	Systèmes fermés					
	Nouveau classement			Classement national		
	Vert	Orange	Rouge	Vert	Orange	Rouge
10-50m	44.9%	53.8%	1.2%	90.7%	2.7%	0.0%
10-100m	39.6%	57.3%	3.1%			
10-200m	38.1%	54.0%	7.8%			

Tableau 19 – Comparaison du nouveau classement (dans lequel les phénomènes locaux sont pris en compte) avec le classement dit « national » pour les sondes géothermiques verticales (SVG).

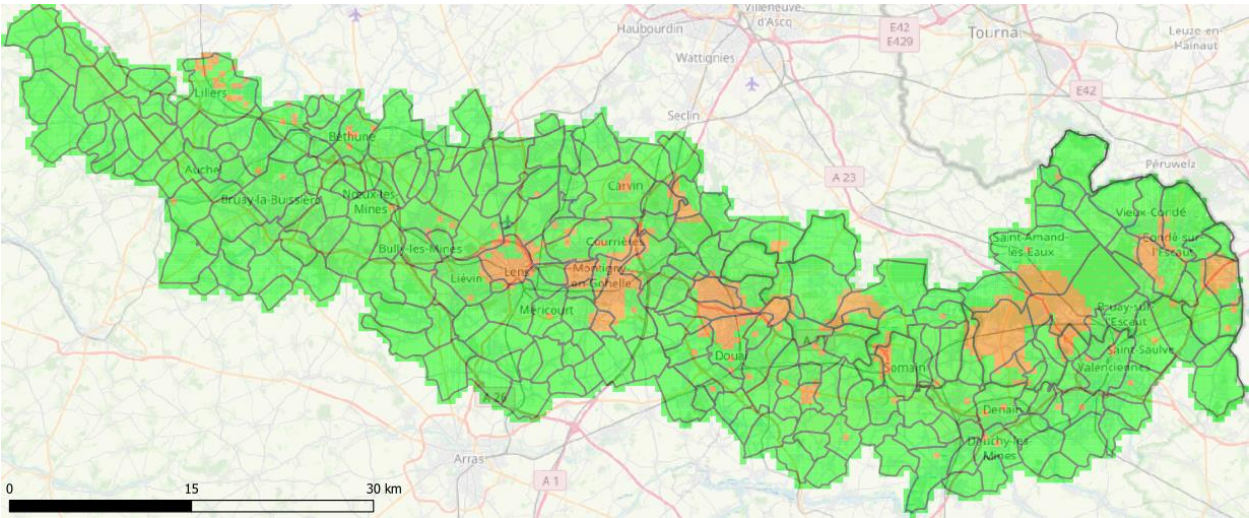


Illustration 49 – Classement de la zone d'étude avec la méthode « nationale » pour les doublets sur nappe, avant réalisation de la présente étude.

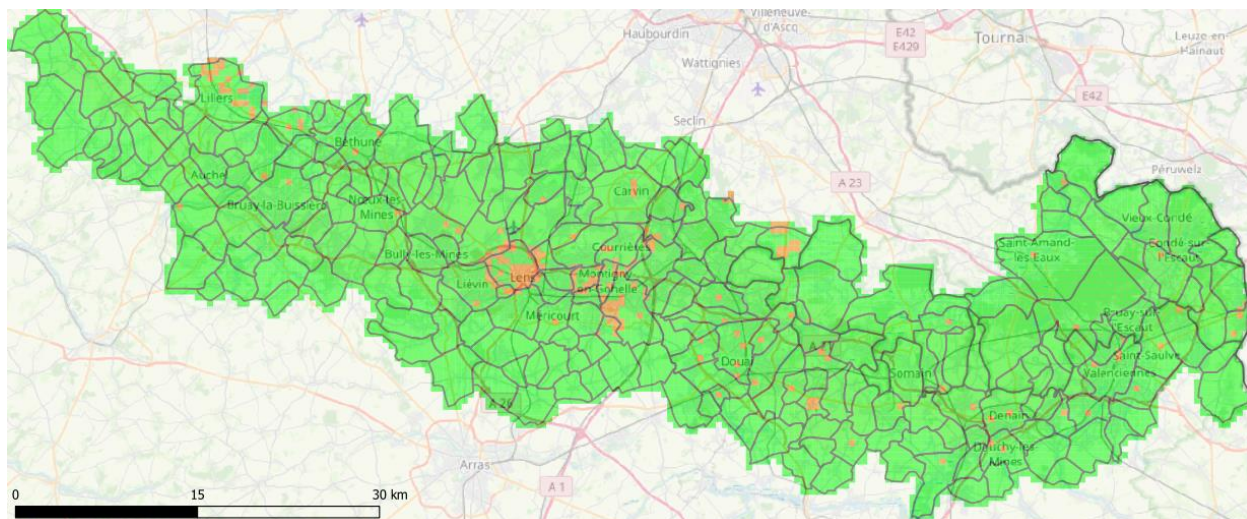


Illustration 50 – Classement de la zone d'étude avec la méthode « nationale » pour les sondes géothermiques verticales, avant réalisation de la présente étude.

6.4. ANALYSE DES RESULTATS

Une analyse a également été réalisée afin de mieux comprendre l'influence de chaque phénomène sur les zones en rouge. Les deux types d'installation les plus communes sont les doublets sur nappe à moins de 50 m de profondeur et les sondes géothermiques verticales à moins de 100 m de profondeur. Dans le premier cas, Illustration 51, 112 mailles sont en zone rouge et dans le deuxième, Illustration 52, 237 sont en zone rouges

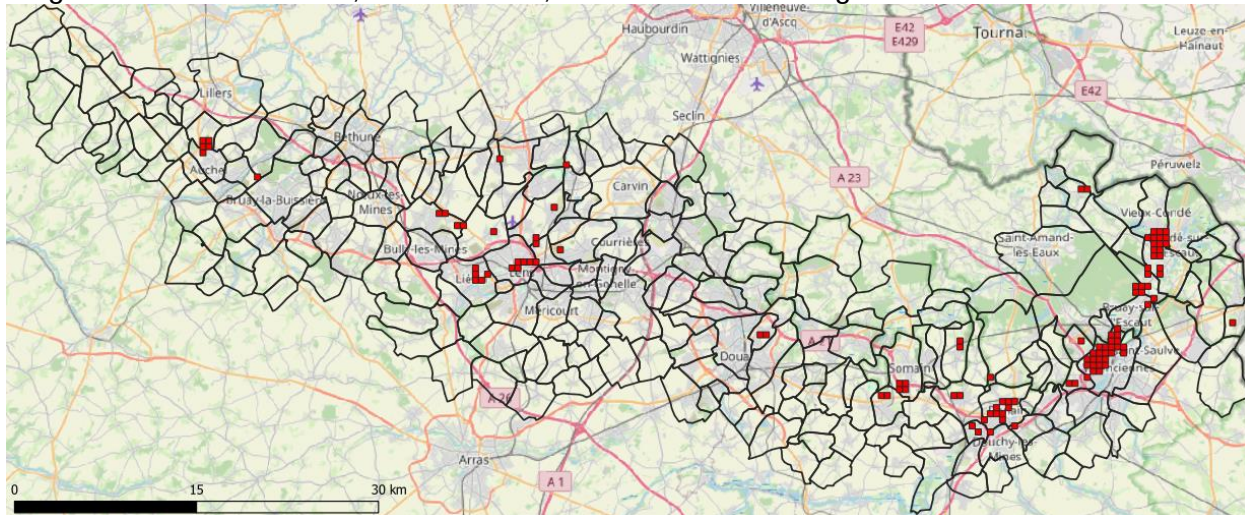


Illustration 51 – Mailles en zone rouge pour les doublets sur nappe 10-50 m

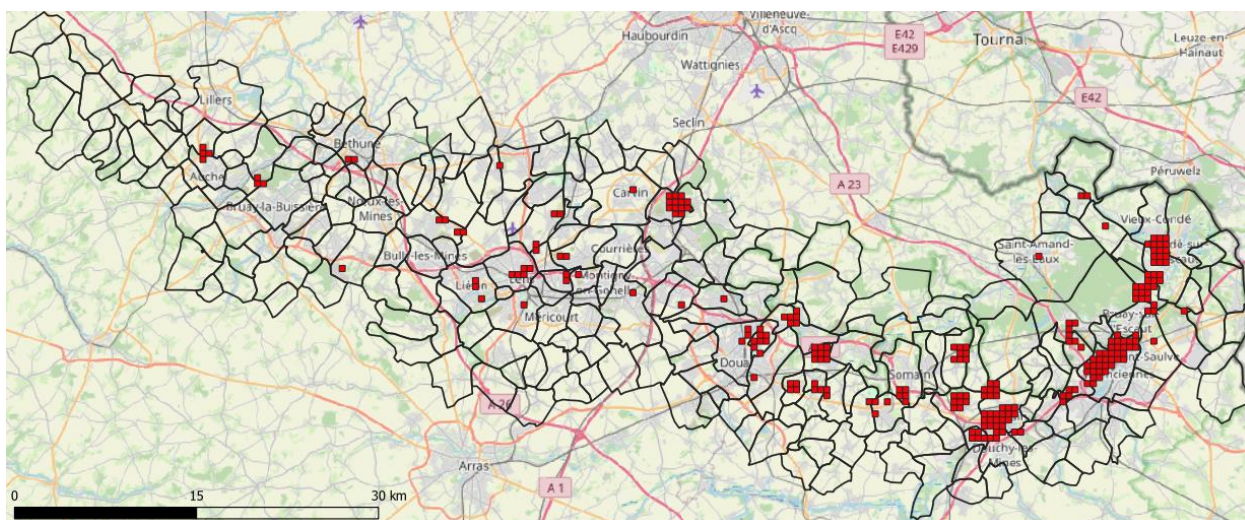


Illustration 52 – Mailles en zone rouge pour les sondes verticales 10-100 m

Pour comprendre ce classement, il a été calculé pour chaque maille, quel phénomène, s'il n'était pas pris en compte, pourrait à lui seul ramener la maille en zone orange. Le nombre de mailles concernées est rapporté Tableau 20.

	Mailles en rouge	Evaporites	Cavités hors mines	Cavités minières	Mouvements de terrain	Pollution	Artésianisme	communication d'aquifères	Problèmes liés à la réinjection	Présence et émission de gaz de mine
Doublets sur nappe prof<50 m	112	2	15	78	1	110	27	45	18	112
SGV prof<100 m	237	4	54	48	0	234	1	124	0	236

Tableau 20 Nombre de mailles basculant en zone orange du fait de la suppression d'un phénomène

On peut constater que le risque de présence et émission de gaz de mine ainsi que les pollutions sont largement majoritaires dans les phénomènes entraînant le classement en zone rouge.

7. Conclusion

Afin de favoriser le recours à la géothermie, de tenir compte des évolutions technologiques et de mieux prendre en compte l'incidence de ces installations sur l'environnement, les personnes et les biens, la réglementation relative à la géothermie de minime importance a fait l'objet d'une révision en 2015 (décret n° 2015-15 du 8 janvier 2015).

Une carte a été réalisée à l'échelle nationale, indiquant les zones géographiques où peuvent exister des risques liés à la réalisation d'un forage géothermique. Elle est appelée carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance. Un guide d'élaboration de cette carte a été mis au point par le MEEM (juillet 2015). Ce guide constitue la méthodologie fixée dans l'arrêté relatif à la carte des zones en matière de géothermie de minime importance, pris en application de l'article 22-6 du décret n°2006-649 du 2 juin 2006 modifié.

Cet arrêté prévoit la possibilité de réviser régionalement ou localement la carte nationale pour apporter plus de précision en matière de connaissance et de localisation des phénomènes. Outre la prise en compte d'autres phénomènes locaux, les niveaux d'aléas ou de susceptibilité attribués à chaque phénomène peuvent être différents entre la carte nationale et la carte révisée par la prise en compte plus précise de la situation locale.

Les travaux exécutés dans le présent rapport concernent le Bassin houiller du Nord-Pas-de-Calais comprenant un ensemble de 256 communes dans les départements du Nord et du Pas-de-Calais avec une passé minier commun.

L'élaboration la carte « Bassin houiller » a tenu compte de neuf phénomènes redoutés pouvant être rencontrés lors de la réalisation des travaux d'un forage géothermique ou lors de l'exploitation du gîte géothermique. Les huit phénomènes retenus suivants ont été traités suivant le guide méthodologique national :

- Affaissement/surrection lié aux formations évaporitiques ;
- Affaissement/ effondrement lié aux cavités (hors mines) ;
- Affaissement/ effondrement lié aux cavités minières ;
- Mouvement de terrain (ou glissement de terrain) ;
- Pollution des sols et/ou des nappes souterraines ;
- Artésianisme ;
- Mise en communication d'aquifères ;
- Remontée de nappe.

Auxquels a été ajouté un phénomène local spécifique du Bassin minier, non compris dans le guide méthodologique, la présence et l'émission de gaz de mine.

Ces phénomènes ont été un à un cotés selon des niveaux établis puis hiérarchisés selon des facteurs dits aggravants afin d'aboutir à une carte constituée de 7759 mailles de 500 m de côté répertoriant les trois zones (rouge, orange, verte) mentionnées précédemment.

Les cartes de zonage réglementaire ont été réalisées pour deux types d'usages géothermiques : les sondes géothermiques verticales (échangeur fermé) et l'exploitation par doublets sur aquifère (échangeur ouvert), pour trois tranches de profondeur (10 m - 50 m, 10 m - 100 m, 10 m - 200 m), soit un total de 6 cartes fournies dans le présent rapport.

Par rapport à la carte nationale initiale, cette étude effectuée à l'échelle subrégionale, avec prise en compte des données et des connaissances acquises à cette échelle, a permis de préciser le

zonage réglementaire en fonction des trois tranches de profondeur. La proportion de zones vertes, orange et rouges de la carte régionale est sensiblement la même pour les sondes géothermiques verticales (SGV) que pour les doublets sur nappe, avec une augmentation des zones soumises à contrainte avec la profondeur ; on compte environ 20% de zones vertes (nécessitant la réalisation d'une déclaration lors d'un projet d'installation géothermique), 70% de zones oranges (nécessitant la réalisation d'une télé-déclaration lors d'un projet d'installation géothermique accompagnée d'une attestation de compatibilité établie par un.e expert.e agréé.e) et un peu moins de 10% de zones rouges (nécessitant le dépôt d'une demande de titre minier et d'une demande d'ouverture de travaux miniers lors d'un projet de forage géothermique).

La carte du Bassin houiller plus précise diminue sensiblement la part des zones vertes du territoire par rapport à la carte nationale initiale, qui passe en moyenne de 90% à 20%, au profit des zones orange qui passent de 10% à 70% et rouges qui passent de 0 à près de 10%. Cette régionalisation de la carte réglementaire a pour effet de mettre davantage en évidence les zones à risque du Bassin houiller vis-à-vis de la réalisation de forages géothermiques et donc permettre une meilleure sécurisation pour les personnes et les biens.

Après validation des critères par les services de l'Etat et publication d'un arrêté par le préfet, les cartes des zones règlementaires relatives à la géothermie de minime importance sont mises à disposition sur le site internet www.geothermies.fr.

8. Bibliographie

Bosch B., Caulier P., Leplat J., Talbot A. (1981). Un objectif géothermique : La Calcaire carbonifère sous le Bassin Houiller à l'Est de Saint-Amand-les-Eaux. Ann. Soc. Géol. Nord. C, 167-174, Décembre 1981.

BRGM (1998) – Ressources thermo-minérales de St-Amand-les-Eaux – Etat des connaissances et possibilités d'exploitation. Rapport BRGM R R 40416

BURGEAP (1999) – District de Lens-Liévin, Eau potable, Etude des vallées de la Clarence et de la Lawe et des impacts sur les forages artésiens – Rapport final

BURGEAP-ISSEP-IFP (1999) – Charbonnages de France, Service Patrimoine Nord-Pas-de-Calais, Département Environnement et Arrêt des Exploitations, Etude hydraulique, hydrogéologique et hydrochimique du Bassin minier charbonnier du Nord-Pas-de-Calais – Rapport final provisoire (étude 3H)

DDTM59 (2008 – 2013) – Plan de prévention des risques mouvements de terrain (PPRMT) Valenciennois, Note de présentation, Direction Départementale de l'Equipeement du Nord, Janvier 2008 - Plan de prévention des risques mouvements de terrain (PPRMT) Valenciennois, Modification n°1, Note explicative, Direction Départementale des Territoires et de la Mer du Nord, Avril 2013

Guide d'élaboration de la carte des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance (juillet 2015) – Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie

Guide méthodologique « Méthodologie de construction de la cartographie des zonages réglementaires relative à la géothermie de minime importance » (2014) - Cerema-BRGM-ADEME

Becq-Giraudon, Jean-François ; Blès, Jean-Louis ; Debeglia, Nicole ; JACOB.C. ; Leplat, J. (1980) - Synthèse géologique du bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais. BRGM/83-SGN-151-GEO, 73 p. ann.

Bernard. D. ; Bosch. B. ; Caulier. P. (1980) - Acquisition et rassemblement des données géothermiques disponibles et nouvelles dans la zone franco-belge de Saint-Ghislain à Saint-Amand-les-Eaux (Nord) Contrat 573-78-EGF . BRGM/80-SGN-406-NPC, 133 p. 6 cartes

Besbes M. et Talbot A. (1983). L'alimentation en eau potable de la Métropole du Nord - Rapport de synthèse. BRGM/83-SGN-589-NPC, 20 p. 4 cartes

Brugeron, Alexandre ; Bessière, Hélène ; Bourguin, Bernard ; Stollsteiner, Philippe (2018) - Etude méthodologique pour l'amélioration de la cartographie de sensibilité aux remontées de nappes et réalisation d'une carte nationale. BRGM/RP-65452-FR, 116 p.

Brikke Y. (COPESEP), Marquis Ch. (CFP-M), Taussac R. (SNPA), Villemain J. (RAP) (1964) Contribution à la connaissance des bassins paléozoïques du Nord de la France. CFP-M, COPESEP, RAP et SNPA.

Caous. J.Y. ; Leplat, J. (1994) - Remontée des eaux dans les anciennes mines de charbon du bassin du nord et du pas de calais - Réflexion sur les avantages et les inconvénients d'accélérer leur remplissage par injection d'eau depuis la surface. BRGM/RR-37942-FR, 44 p. 10 pht.

GEODERIS/INERIS (2010 – 2012) – Rapport E2008/198DE – 09NPC2220, daté du 20 décembre 2010), rédigé par C. Lambert pour GEODERIS – Rapport E2010/071DE_bis – 10NPC221, daté du 7 octobre 2011, rédigé par C. Lambert pour GEODERIS – Rapport E2010/215DEbis – 10NPC2221, daté du 16 juillet 2012, rédigé par C. Lambert pour GEODERIS et par R. Salmon pour l'INERIS – Rapport E2011/025DEbis – 11NPC2210, daté du 12 octobre 2011, rédigé par C. Lambert pour GEODERIS – Rapport E2011/039DEbis – 11NPC2210, daté du 16 juillet 2012, rédigé par C. Lambert pour GEODERIS – Rapport E2011/043DE – 11NPC2220, daté du 16 mai 2011, rédigé par C. Lambert pour GEODERIS et par R. Salmon pour GEODERIS - Rapport E2011/102DE – 11NPC2220, daté du 19 décembre 2011), rédigé par C. Lambert pour GEODERIS.

INERIS (2007). Bassin houiller du Nord Pas-de-Calais, Définition de l'aléa "gaz de mine" en vue de la réalisation d'un Plan de prévention des Risques Miniers, Rapport méthodologique - Rapport DRS-08-90083-08361A de l'INERIS, Direction des Risques du Sol et du Sous-sol, avec la participation de GEODERIS, Pokryszka Z, 22 décembre 2007.

Louart J. (BRGM), Louart O. (EGEE), Beckelynck J. (EGEE), Bonduelle A. (E&E), Delacroix D. (E&E) (2017) – Stratégie de développement de la filière géothermie basse énergie sur aquifères profonds et sur eaux de mines en région Hauts-de-France. Rapport final. BRGM/RC-66996-FR, 175 p., 4 illustrations, 2 tableaux, 6 annexes.

Licour L. (2014) The geothermal reservoir of Hainaut: the result of thermal convection in a carbonate and sulfate aquifer. GEOLOGICA BELGICA (2014) 17/1: 75-81

Louart J. (BRGM), Louart O. (EGEE), Delacroix D. (E&E), Beckelynck J. (EGEE) (2017) – Potentiel géothermique basse énergie sur aquifères profonds et sur eaux de mines en région Hauts-de-France. Rapport final. BRGM/RC-66768-FR, tome 1, 113 p., 54 ill., 25 tabl., 1 CD.

Louart J. (BRGM), Louart O. (EGEE), Beckelynck J. (EGEE), Bonduelle A. (E&E) et Delacroix D. (E&E) (2016) – Recueil de données pour l'étude du potentiel de la géothermie basse énergie et du potentiel des eaux de mines en Nord-Pas de Calais. Rapport final. BRGM/RC-65992-FR, 121 p., 50 ill., 8 tabl., 6 ann.

Manceau, Jean-Charles ; Vernoux, Jean-François (2018) - Bassin houiller du Nord-Pas-de-Calais. Analyse critique du dispositif de surveillance eau du réservoir minier et pertinence de la révision des prévisions d'ennoyage du réservoir. Rapport final. BRGM/RP-67494-FR, 262 p., 2 ann.

Picot J. (2009) – Synthèse sur les aquifères du Nord-Pas-de-Calais. Rapport BRGM/RP-57368-FR, 57 p., 6 fig., 10 tabl., 7 ann.

Picot J. et Pira K. (2011) – Atlas du potentiel géothermique très basse énergie des aquifères de la région du Nord-Pas-de-Calais. Rapport final. BRGM/RP-60244-FR, 2 tomes, 274 p., 90 fig., 19 tabl., 10 annexes.

Plan de prévention des risques mouvements de terrain (PPRMT) Valenciennois (approuvé en janvier 2008, modifié en juin 2013) – Préfecture du Nord, direction départementale de l'Equipement

Rapport E2008/198DE – 09NPC2220 (20 décembre 2010), GEODERIS

Sites internet :

<https://www.oldminer.co.uk/old-arkwright-town.html>

https://en.wikipedia.org/wiki/Arkwright_Town

Annexe 1

Liste des communes concernées par l'étude

Ablain-Saint-Nazaire	Courrières	Hermin	Oppy
Abscon	Coutiches	Hersin-Coupigny	Ostricourt
Acheville	Crespin	Hesdigneul-lès-Béthune	Ourton
Aix-Noulette	Cuinchy	Hornaing	Pecquencourt
Allouagne	Cuincy	Houchin	Petite-Forêt
Ames	Dechy	Houdain	Phalempin
Amettes	Denain	Hulluch	Pont-à-Vendin
Angres	Diéval	Izel-lès-Équerchin	Prouvy
Anhiers	Divion	La Comté	Provin
Aniche	Douai	La Sentinelle	Quarouble
Annay	Douchy-les-Mines	Labeuvrière	Quiéry-la-Motte
Annequin	Dourges	Labourse	Quiévrechain
Annezin	Douvrin	Lallaing	Roeulx
Annoeullin	Drocourt	Lambres-lez-Douai	Râches
Anzin	Drouvin-le-Marais	Lapugnoy	Raimbeaucourt
Arleux-en-Gohelle	Écaillon	Lauwin-Planque	Raismes
Auberchicourt	Éleu-dit-Leauwette	Leforest	Rebreuve-Ranchicourt
Aubry-du-Hainaut	Émerchicourt	Lens	Rely
Auby	Enguinegatte	Lespesses	Rieulay
Auchel	Enquin-les-Mines	Lewarde	Rombies-et-Marchipont
Auchy-au-Bois	Erchin	Libercourt	Roost-Warendin
Auchy-les-Mines	Erre	Lières	Roucourt
Aulnoy-lez-Valenciennes	Escaudain	Lieu-Saint-Amand	Rouvignies
Aumerval	Escautpont	Liévin	Rouvroy
Avion	Esquerchin	Ligny-lès-Aire	Ruitz
Bailleul-lès-Pernes	Estevelles	Lillers	Sailly-Labourse
Bailleul-Sir-Berthoult	Estrée-Blanche	Loffre	Sains-en-Gohelle
Bajus	Évin-Malmaison	Loison-sous-Lens	Saint-Amand-les-Eaux
Barlin	Famars	Loos-en-Gohelle	Saint-Aybert
Bauvin	Farbus	Lourches	Saint-Hilaire-Cottes
Bellaing	Faumont	Lozinghem	Saint-Saulve
Bénifontaine	Febvin-Palfart	Maing	Sallaumines
Béthune	Fenain	Maisnil-lès-Ruitz	Sebourg
Beugin	Ferfay	Marchiennes	Sin-le-Noble
Beuvrages	Férin	Marles-les-Mines	Somain
Beuvry	Fléchin	Marly	Souchez
Billy-Berclau	Flers-en-Escrebieux	Marquette-en-Ostrevant	Thélus
Billy-Montigny	Flines-lès-Mortagne	Masny	Thiant
Bois-Bernard	Flines-lez-Raches	Mastaing	Thivencelle
Bouchain	Floringhem	Mazingarbe	Thumeries
Bouvigny-Boyeffles	Fontaine-lès-Hermans	Méricourt	Thun-Saint-Amand
Brebières	Fouquereuil	Meurchin	Trith-Saint-Léger
Bruay-la-Buissière	Fouquières-lès-Béthune	Monchaux-sur-Écaillon	Valenciennes

Bruay-sur-l'Escaut	Fouquières-lès-Lens	Moncheaux	Vaudricourt
Bruille-lez-Marchiennes	Fresnes-sur-Escaut	Monchecourt	Vendin-les-Bétunes
Bruille-Saint-Amand	Fresnicourt-le-Dolmen	Montigny-en-Gohelle	Vendin-le-Vieil
Bugnicourt	Fresnoy-en-Gohelle	Montigny-en-Ostrevent	Vermelles
Bully-les-Mines	Fressain	Mortagne-du-Nord	Verquigneul
Burbure	Goeulzin	Noeux-les-Mines	Verquin
Calonne-Ricouart	Givenchy-en-Gohelle	Nédon	Vicq
Camblain-Châtelain	Gosnay	Nédonchel	Vieux-Condé
Cambrin	Grenay	Neuville-Saint-Vaast	Villers-au-Tertre
Camphin-en-Carembault	Guesnain	Neuville-sur-Escaut	Vimy
Cantin	Haillicourt	Neuvireuil	Violaines
Carency	Haisnes	Nivelle	Vred
Carnin	Hantay	Noyelles-Godault	Wahagnies
Carvin	Harnes	Noyelles-lès-Vermelles	Waller
Cauchy-à-la-Tour	Hasnon	Noyelles-sous-Lens	Wandignies-Hamage
Château-l'Abbaye	Haulchin	Noyelles-sur-Selle	Warlaing
Choques	Haveluy	Oblinghem	Wavrechain-sous-Denain
Condé-sur-l'Escaut	Hélesmes	Odomez	Waziers
Corbehem	Hénin-Beaumont	Oignies	Westrehem
Courcelles-lès-Lens	Hergnies	Oisy	Willerval
Courchelettes	Hérin	Onnaing	Wingles



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Direction régionale Hauts-de-France

Arteparc Bâtiment A
2, rue des Peupliers, BP 10406
59814 LESQUIN Cedex

Tél : 03 20 19 15 47