

(ID Modèle = 454913)

Ineris - 227342 - 2813876 - v2.0

06/02/2025

**Méthodologie d'établissement d'un inventaire
des émissions de méthane depuis les anciens
sites miniers souterrains d'exploitation du
charbon (au titre du règlement européen EU
2024/1787)**

PRÉAMBULE

Le présent document a été réalisé au titre de la mission d'appui aux pouvoirs publics confiée à l'Ineris, en vertu des dispositions de l'article R131-36 du Code de l'environnement.

La responsabilité de l'Ineris ne peut pas être engagée, directement ou indirectement, du fait d'inexactitudes, d'omissions ou d'erreurs ou tous faits équivalents relatifs aux informations utilisées.

L'exactitude de ce document doit être appréciée en fonction des connaissances disponibles et objectives et, le cas échéant, de la réglementation en vigueur à la date d'établissement du document. Par conséquent, l'Ineris ne peut pas être tenu responsable en raison de l'évolution de ces éléments postérieurement à cette date. La mission ne comporte aucune obligation pour l'Ineris d'actualiser ce document après cette date.

Au vu de ses missions qui lui incombent, l'Ineris, n'est pas décideur. Les avis, recommandations, préconisations ou équivalents qui seraient proposés par l'Ineris dans le cadre des missions qui lui sont confiées, ont uniquement pour objectif de conseiller le décideur dans sa prise de décision. Par conséquent, la responsabilité de l'Ineris ne peut pas se substituer à celle du décideur qui est donc notamment seul responsable des interprétations qu'il pourrait réaliser sur la base de ce document. Tout destinataire du document utilisera les résultats qui y sont inclus intégralement ou sinon de manière objective. L'utilisation du document sous forme d'extraits ou de notes de synthèse s'effectuera également sous la seule et entière responsabilité de ce destinataire. Il en est de même pour toute autre modification qui y serait apportée. L'Ineris dégage également toute responsabilité pour chaque utilisation du document en dehors de l'objet de la mission.

Nom de la Direction en charge du rapport : DIRECTION SITES ET TERRITOIRES

Rédaction : FAVIER Sylvain et GOUZY Aurélien

Vérification : POULARD FREDERIC

Approbation : DUPLANTIER STEPHANE - le 06/02/2025

Table des matières

1	Contexte réglementaire	6
1.1	Lecture et interprétation de la réglementation européenne	6
1.2	Chronologie	7
2	Méthodologie d'identification et de renseignement des concessions concernées par l'inventaire ..	8
2.1	Sélection des concessions sur la base d'informations contextuelles (partiellement) disponibles 9	
2.2	Sélection des concessions concernées par l'estimation (quantification /mesure) des émissions de CH ₄ selon leur état d'envoyage	10
2.3	Méthodologie d'estimation des émissions de CH ₄ de la concession à la source ponctuelle .	12
2.3.1	Méthodologie d'estimation des émissions de CH ₄ à l'échelle de la concession	12
2.3.2	Estimation des émissions de CH ₄ à l'échelle de la concession par une approche par facteur d'émission	14
2.3.2.1	Estimation des émissions	14
2.3.2.2	Calcul des facteurs d'émission	15
2.3.3	Pistes de réflexion sur la méthodologie d'estimation par quantification des émissions de CH ₄ à l'échelle de la source ponctuelle	16
2.4	Vérification sur le terrain des estimations et protocole de mesure ponctuelle des émissions de CH ₄ sur les ODJ et SDEC potentiellement émetteurs	18
3	Formalisme à adopter pour l'inventaire	21
4	Application pilote de la méthodologie	22
4.1	Sélection des concessions concernées par la phase d'inventaire	22
4.2	Sélection des concessions de l'inventaire dont les émissions de CH ₄ doivent être estimées sur la base d'informations mobilisées quantitatives (quantifiées et/ou mesurées) à travers l'application de la méthodologie menée à titre exploratoire par l'Ineris - État d'envoyage des concessions	23
4.3	Estimation des émissions de CH ₄ à l'échelle de la concession par une approche par facteur d'émission à travers l'application de la méthodologie menée à titre exploratoire par l'Ineris : résultats préliminaires	23
5	Recommandations	26
6	Références	27
7	Glossaire	28
8	ANNEXES	29
8.1	Annexe 1 : Règlement EU 2024/1787 (version française)	30
8.2	Annexe 2 : Méthodologie « clés en main » de l'inventaire des mines de charbon	31
8.2.1	Données requises pour sélectionner les concessions concernées par l'inventaire, le suivi ainsi que les données requises pour compléter l'inventaire	31
8.2.2	Identification des concessions concernées par l'inventaire	33
8.2.3	Estimation des émissions de CH ₄ à l'échelle des concessions	38
8.2.4	Estimation des émissions de CH ₄ à l'échelle de l'ODJ	42
8.2.5	Sélection des concessions concernées par le suivi des émissions de CH ₄	45
8.2.6	Complétion du tableau d'inventaire à rendre à l'Europe	46
8.3	Annexe 3 : Méthodologie de l'estimation des émissions de CH ₄ pour les concessions en cours d'envoyage ou stabilisées	47

Table des figures

Figure 1 – Représentation schématique de la chronologie des principales actions attendues sur le volet anciennes mines de charbons souterraines au titre du règlement européen EU 2024/1787.....	7
Figure 2 – Représentation successive des étapes d’inventaire des sites (concessions) miniers français concernés par l’inventaire et par le suivi des émissions de CH ₄	8
Figure 3 – Logigramme de l’étape de sélection des concessions devant faire l’objet de l’inventaire (et ce, indépendamment des quantités estimées ou mesurées de méthane émises) NSP – « Ne sait Pas ».....	10
Figure 4 – Logigramme de l’étape de sélection des concessions devant faire l’objet d’estimation des émissions de CH ₄ sur la base de leur état d’envoyage.....	11
Figure 5 - Logigramme de l’étape de sélection des concessions devant faire l’objet d’une quantification des émissions à l’échelle de la source ponctuelle (ODJ/SDEC).....	12
Figure 6 - Logigramme représentant la façon d’estimer les émissions de méthane d’une concession en fonction des informations quantitatives localement disponibles.....	13
Figure 7 - Logigramme représentant les suites à donner en termes d’investigations à mener in-situ en fonction de l’importance de l’estimation des émissions locales de méthane.....	17
Figure 8 - Logigramme représentant les suites à donner en termes d’investigations à mener in-situ en fonction de l’importance de l’estimation des émissions de méthane à l’échelle de la concession (ou des ODJ/SDEC).....	20
Figure 9 – Résultats chiffrés (en concessions) de l’application de la méthodologie menée à titre exploratoire par l’Ineris.....	22
Figure 10 – Localisation des 133 concessions non totalement envoyées depuis 10 ans ou plus identifiées à travers l’application de la méthodologie menée à titre exploratoire par l’Ineris.....	23
Figure 11 – Localisation des 109 concessions non totalement envoyées depuis 10 ans ou plus identifiées à travers l’application de la méthodologie menée à titre exploratoire par l’Ineris (estimations exprimées en t CH ₄ /an).....	24
Figure 12 – a) Distribution spatiale des estimations du taux d’envoyage limite des ouvrages à atteindre pour émettre moins de 0.5 tCH ₄ /an identifiées à travers l’application de la méthodologie menée à titre exploratoire par l’Ineris ; b) Distribution des estimations du taux d’envoyage limite des ouvrages à atteindre pour émettre moins de 0.5 tCH ₄ /an ; c) Distribution du taux maximum d’envoyage à atteindre par concession pour n’avoir plus aucun ouvrage émettant plus de 0.5 tCH ₄ /an.....	25
Figure 13 - Logigramme de la création des différentes tables nécessaires à la sélection des concessions concernées par l’inventaire. Les tables à enregistrer correspondent aux encadrés. La table de concessions résultant du processus de sélection des concessions concernées par l’inventaire est Sites Miniers « charbon post54 mat ». La table des ouvrages concernés par l’inventaire est Ouvrages « charbon post54 mat ».....	33
Figure 14 - Principe d’enregistrement d’une nouvelle table sous QGIS à partir d’une sélection d’entités.....	34
Figure 15 - Principe de sélection spatialisée entre la base des ouvrages et celle des concessions sur QGIS. Veiller à bien cocher la case « intersecte ».....	36
Figure 16 : Structure de la table QGIS des Sites Miniers "charbon post54 mat".....	38
Figure 17 : Structure de la table QGIS des Ouvrages "charbon post54 mat".....	42

Résumé

L'objet de ce document est de fournir une aide opérationnelle aux acteurs impliqués dans l'établissement d'un inventaire des émissions de méthane depuis les anciens sites miniers souterrains d'exploitation du charbon tel que défini au titre du règlement européen EU 2024/1787. Ce rapport vise à décrire « pas à pas » et de façon opérationnelle les étapes préconisées pour aboutir à un inventaire qualitatif mais également de replacer la réalisation de cet exercice au sein de l'ensemble des actions qui découleront de l'application du règlement européen.

La méthodologie ici présentée a été élaborée sur la base des connaissances des phénomènes physiques à l'œuvre permettant de décrire les émissions de méthane des anciens travaux miniers souterrains de charbon mais s'appuie également sur les données pertinentes pour l'approche et disponibles en 2024. De façon générale, si des données quantitatives de qualité sont disponibles pour rendre compte des émissions de méthane, celles-ci doivent être considérées de façon préférentielle aux approches estimatives dont les formules de calcul sont fournies par défaut dans ce document.

La méthodologie proposée a vocation à être appliquée de façon similaire sur l'ensemble du territoire métropolitain français afin d'assurer l'homogénéité des informations qui en découleront.

Notons que ce document a vocation à être éventuellement mis à jour dans les années à venir afin de tenir compte de l'évolution des connaissances, des outils et de la complétude des bases de données employées.

Abstract

The purpose of this document is to provide operational assistance to those involved in preparing an inventory of methane emissions from former underground coal mining sites, as defined by European Regulation EU 2024/1787. The aim of this report is to provide a step-by-step operational description of the steps required to carry out a qualitative inventory and to place the completion of this exercise in the context of all the actions that will result from the application of the European Regulation.

The methodology presented here has been developed on the basis of our knowledge of the physical phenomena involved in describing methane emissions from former underground coal mines but is also based on data relevant to the approach and available in 2024. In general, where high quality quantitative data are available to account for methane emissions, these should be considered in preference to the estimation approaches whose calculation formulae are provided by default in this document.

The proposed methodology is intended to be applied in a similar way throughout mainland France, to ensure the consistency of the resulting information.

It should be noted that this document may be updated in the coming years to take account of developments in knowledge, tools and the completeness of the information provided.

Pour citer ce document, utilisez le lien ci-après :

Institut national de l'environnement industriel et des risques, Méthodologie d'établissement d'un inventaire des émissions de méthane depuis les anciens sites miniers souterrains d'exploitation du charbon (au titre du règlement européen EU 2024/1787), Verneuil-en-Halatte : Ineris - 227342 – 2813876 - v2.0, 15/12/202406/02/2025.

Mots-clés :

Inventaire d'émission ; méthane ; facteur d'émission ; EU 2024/1787 ; après-mine ; charbon

1 Contexte réglementaire

Dans le cadre de la réglementation européenne (Règlement EU 2024/1787 ; cf. annexe présentée au §8.1) sur les émissions de gaz à effet de serre, il est attendu que les États Membres établissent un inventaire des émissions de méthane depuis les anciens sites miniers souterrains ayant exploité du charbon sur leur territoire (article 24 du règlement EU 2024/1787). Pour chaque site concerné, l'inventaire recense les sources d'émissions dites « ponctuelles », [les puits d'exploitation]¹, les puits d'aéragé, les conduits d'aération non utilisés, et les puits de captage de gaz non utilisés, sous la forme d'une mesure directe à la source ou d'une quantification, en vue d'un suivi de ces dernière si les émissions dépassent la valeur de 0.5 tCH₄/an².

Notons que la réglementation européenne propose un angle novateur vis-à-vis de la connaissance des émissions gazeuses des anciens ouvrages miniers souterrains. En effet, il s'agit de compléter l'approche de prévention des risques (déjà en place en France) où la concentration des émissions gazeuses est comparée à des seuils de toxicité / danger pour l'homme par la quantification des émissions gazeuses de méthane à travers l'estimation d'un flux (flux destiné à compléter les connaissances des émissions de méthane, second gaz à effet de serre derrière le dioxyde de carbone). Cette modification de « l'angle d'approche » de la problématique nécessite ainsi d'acquérir de nouvelles connaissances et de développer une approche méthodologiquement innovante afin d'aboutir à la détermination d'un inventaire crédible et documenté.

1.1 Lecture et interprétation de la réglementation européenne

Afin de réaliser l'inventaire prescrit, l'État a mandaté l'Ineris pour développer la méthodologie permettant de sélectionner les sites concernés et de mettre en place l'estimation et le suivi des émissions de méthane depuis les anciens sites miniers souterrains de charbon, des sources ponctuelles identifiées comme émettrices (c'est-à-dire se caractérisant par un flux supérieur à 0.5 tCH₄/an).

La lecture de la réglementation européenne laisse apparaître certaines zones d'ombres et imprécisions quant à la définition des termes « sites » et « sources ponctuelles ». Ainsi l'Ineris propose de considérer comme « site », la concession minière, et de définir les sources d'émissions de CH₄ ponctuelles comme étant l'ensemble des Ouvrages Débouchant au Jour (ODJ) dits « matérialisés³ » et les SDEC (ouvrages embasés par GEODERIS et ou le DPSM).

¹ Non listés par la version française du texte du règlement EU 2024/1787, il nous apparait néanmoins clairement que les anciens puits d'exploitation sont à inclure à la liste des ouvrages à considérer comme « sources ponctuelles » (ceci semble d'ailleurs être le cas dans la version en anglais du règlement).

² Le règlement européen précise que ce recensement concerne également « les autres sources d'émissions ponctuelles potentielles enregistrées ». Les auteurs de ce rapport incluent ainsi les galeries de mine donnant accès aux travaux miniers dans le cadre de l'inventaire.

³ Puits matérialisés : puits qui ont effectivement été retrouvés en surface et dont les coordonnées ont pu être relevées au GPS ; par opposition aux puits localisés : puits qui n'ont pas été retrouvés sur le terrain mais dont les coordonnées sont connues (archives ou exploitant) et comportant une incertitude de positionnement (Rapport GEODERIS 2019/306DE – 19NAT51010 et Circulaire du 6 janvier 2012 relative à la prévention des risques miniers résiduels NOR : DEVP1134619C).

Pour chaque site concerné (sites identifiés selon la méthodologie exposée au §2) il est demandé de fournir les éléments suivants⁴ (Annexe VIII du règlement EU 2024/1787) :

- 1) nom et adresse de l'exploitant, du propriétaire ou du concessionnaire, le cas échéant ;
- 2) adresse du site ;
- 3) carte indiquant les limites de la mine de charbon ;
- 4) plans des ouvrages miniers et statut de ceux-ci ;
- 5) résultats de la mesure directe à la source ou de la quantification aux sources d'émissions ponctuelles suivantes :
 - a. tous les puits d'aérage utilisés par la mine de charbon lorsqu'elle était en exploitation, en mentionnant :
 - i. les coordonnées du puits d'aérage ;
 - ii. le nom du puits d'aérage (le cas échéant) ;
 - iii. l'état de scellement et la méthode de scellement, si connus ;
 - b. les conduits d'aération non utilisés ;
 - c. les puits de captage des gaz non utilisés ;
 - d. les autres sources d'émissions ponctuelles potentielles enregistrées.

Sur la base d'un tel inventaire, un équipement de mesure à fréquence horaire devra être installé sur l'ensemble des sources ponctuelles dont les émissions dépassent le seuil de 0.5 tCH₄/an (Article 25 du règlement EU 2024/1787). De surcroît une mise à jour de cet inventaire et du suivi des émissions sera à effectuer annuellement sous la forme d'un rapport.

Dans le cas où le suivi des émissions de CH₄ d'une source ponctuelle tel que ci-avant défini fait état d'émissions inférieures à 1 tCH₄/an pendant 6 années consécutives pour les mines envoyées (à comprendre au sens totalement envoyées), ou pendant 12 années consécutives dans le cas de mines non envoyées, le suivi peut cesser.

De plus, dans le cas où il est possible de démontrer qu'une mine est totalement envoyée depuis au moins 10 ans avant la date de l'inventaire (ou de sa mise à jour annuelle), les ODJ et SDEC d'une telle mine sont exemptés de suivi des émissions de CH₄.

1.2 Chronologie

Afin de réaliser un tel inventaire, amenant à terme au suivi pérenne des ODJ et SDEC dont les émissions dépassent le seuil de 0.5 tCH₄/an, le règlement européen a arrêté la chronologie suivante (Figure 1).

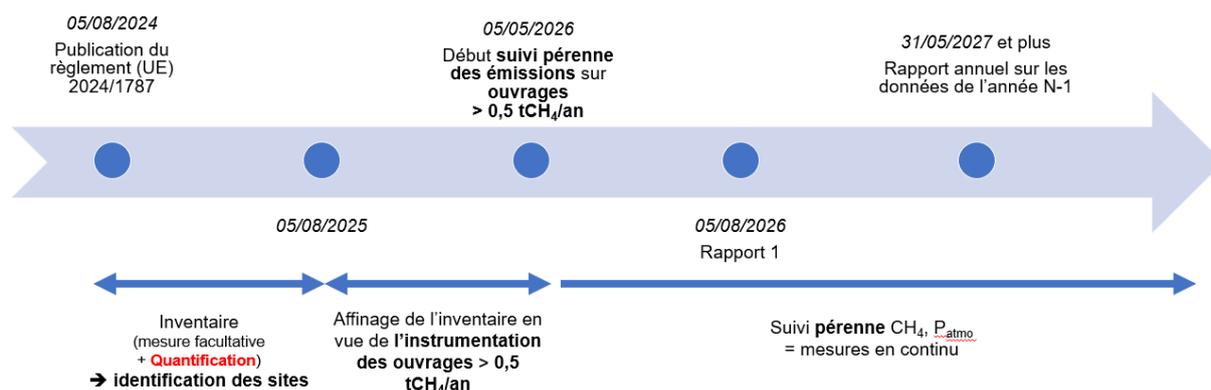


Figure 1 – Représentation schématique de la chronologie des principales actions attendues sur le volet anciennes mines de charbons souterraines au titre du règlement européen EU 2024/1787.

⁴ Une annexe de ce rapport (cf. §8.2) précise les informations à mobiliser pour répondre à chacune des exigences ci-après exposées.

L'inventaire des sites, tels que définis par le règlement 2024/1787, est à rendre au plus tard le 05/08/2025. Puis à partir du 05/05/2026, un suivi pérenne des émissions de méthane devra être mis en place à l'aide d'un équipement de mesure installé sur les sources ponctuelles (ODJ et SDEC) qui ont démontré des émissions supérieures à 0.5 tCH₄ /an. Ainsi du 05/08/2025 au 05/05/2026, il est possible d'affiner l'inventaire afin de recenser et d'instrumenter l'ensemble des ouvrages concernés.

Un premier rapport sur les émissions de méthane est à rendre au plus tard le 05/08/2026, puis au plus tard le 31 mai des années suivantes.

À l'échelle nationale, il a été décidé entre les partenaires français qu'à partir de 2025, les différents inventaires produits au cours du temps (ainsi que leurs éventuels pièces justificatives) seront hébergés sur le site internet de GEODERIS.

2 Méthodologie d'identification et de renseignement des concessions concernées par l'inventaire

Par souci d'efficacité, dans un contexte fortement contraint par le temps, la méthodologie présentée s'appuie un maximum sur les données et les informations déjà disponibles et embasées. Pour ce faire, une approche en deux temps est ainsi privilégiée : elle se constitue d'une première phase sélection des concessions concernées par l'inventaire, puis d'une seconde phase de sélection des concessions concernées par la quantification des émissions de méthane (Figure 2).

D'autre part, et de façon générale pour l'ensemble de la méthodologie présentée, une approche maximisant les estimations d'émissions de CH₄ a été adoptée : pour un site donné, en l'absence d'information permettant d'estimer finement les émissions de CH₄, la situation la plus défavorable a ainsi été adoptée (dans ce sens la méthodologie indique à chaque étape la procédure à appliquer en l'absence de données ou bien si la qualité et la représentativité de celles-ci ne sont pas jugées suffisantes).

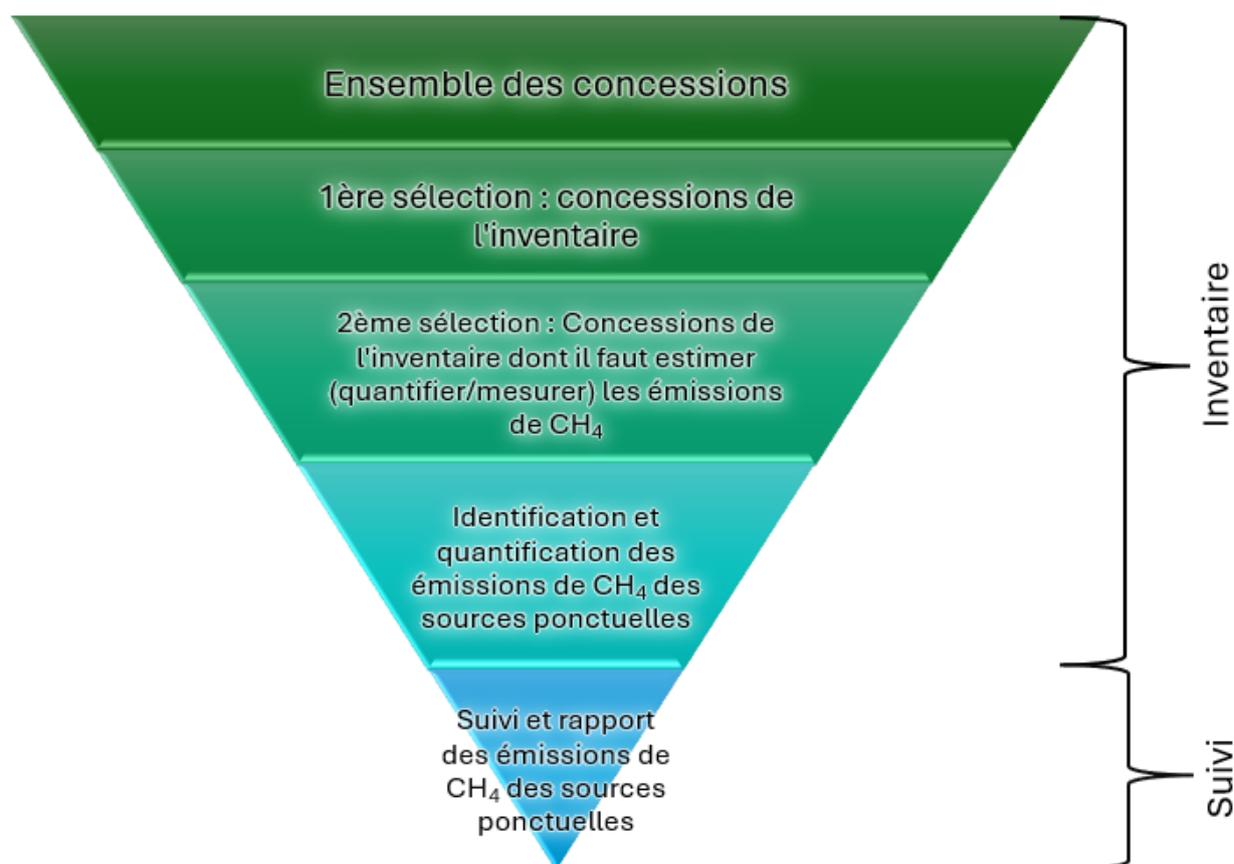


Figure 2 – Représentation successive des étapes d'inventaire des sites (concessions) miniers français concernés par l'inventaire et par le suivi des émissions de CH₄.

2.1 Sélection des concessions sur la base d'informations contextuelles (partiellement) disponibles

Afin de réaliser l'inventaire, dans un premier temps, il est nécessaire de sélectionner les concessions minières concernées parmi l'ensemble des sites miniers français (et ce, indépendamment des quantités estimées ou mesurées de méthane émises). Pour cela, la méthodologie repose sur l'utilisation de 3 « filtres »⁵ (Figure 3). **Le premier filtre concerne la sélection des concessions connues pour la production de « charbon »** et celles dont on ne connaît pas la substance extraite.

D'après la définition 43 du règlement EU 2024/1787, le terme « charbon » recouvre les substances suivantes : lignite, charbon sous-bitumineux, charbon bitumineux et anthracite.

Le deuxième filtre concerne la sélection des concessions dont les travaux se sont arrêtés après le 03/08/1954 en accord avec l'article 24 du règlement EU 2024/1787 et qui ne peuvent donc pas être écartées a priori. Ce filtre se décompose en deux sous filtres :

- (i) un premier filtre sur la date de renonciation des concessions car cette information est facilement accessible et déjà embaillée (pour écarter toutes les concessions renoncées avant le 03/08/1954),
- (ii) un filtre sur la date d'arrêt des travaux pour les concessions ayant été renoncées après le 03/08/1954 (seules les exploitations où les travaux ont perduré au-delà de 1954 sont ainsi concernées).

Le troisième filtre ne retient que les concessions possédant des sources d'émissions de CH₄ ponctuelles connues⁶ (c'est-à-dire, principalement les ODJ dits « matérialisés » ou SDEC ayant atteint les travaux miniers⁷).

L'ensemble de ces filtres peut être appliqué sur le fichier « .shp » de la base de données opérée par GEODERIS (BDSTM) des sites et des ouvrages miniers⁸. Une annexe (cf § 8.2) développe en détail les opérations de sélections à partir des champs de la BDSTM.

Rappelons par ailleurs, qu'au-delà de l'exploitation de données destinées à la seule formalisation de l'inventaire, le règlement EU 2024/1787 liste également une série d'informations contextuelles à fournir pour chacun des sites souterrains de production de charbon concernés et retenus à cette étape de sélection (cf. § 1.1).

Remarque : les sites écartés de l'inventaire à cette étape de sélection ne font pas l'objet d'un rapportage ni d'un renseignement spécifique.

⁵ Un « filtre » étant ici considéré comme un test logique nous permettant de savoir pour chaque implantation de production de charbon (possiblement considérée à différentes échelles géographiques) si un site donné doit être conservé (et donc faire l'objet de l'inventaire) ou bien si des critères, explicitement indiqués dans la réglementation EU 2024/1787, peuvent permettre de l'exclure.

⁶ Comme stipulé par le règlement UE 2024/1787 à l'article 24, qui précise l'origine des émissions de méthane à considérer dans l'inventaire :

- a) Puits d'aérage
- b) Equipement d'extraction
- c) Autres sources d'émissions ponctuelles bien définies

⁷ Au cours des 75 dernières années, les cessations d'activité des concessions d'exploitation de charbon ont, très majoritairement, été gérées par Charbonnage de France avec un protocole robuste d'identification des ODJ : pour ces concessions, on peut ainsi associer ODJ matérialisés « aux sources d'émissions ponctuelles connues » du règlement EU 2024/1787. Pour les autres gestionnaires, cette association pourra être réinterrogée par le pilote en charge de la réalisation de l'inventaire.

⁸ Cette base de données regroupe des informations compilées sur une période de plus de 20 ans : l'homogénéité de son remplissage ainsi que l'actualité des différentes informations reprises gagneraient à être challengées. Ces deux limitations devront être gardées en tête lors de l'interprétation des résultats issus de l'application de la méthodologie.

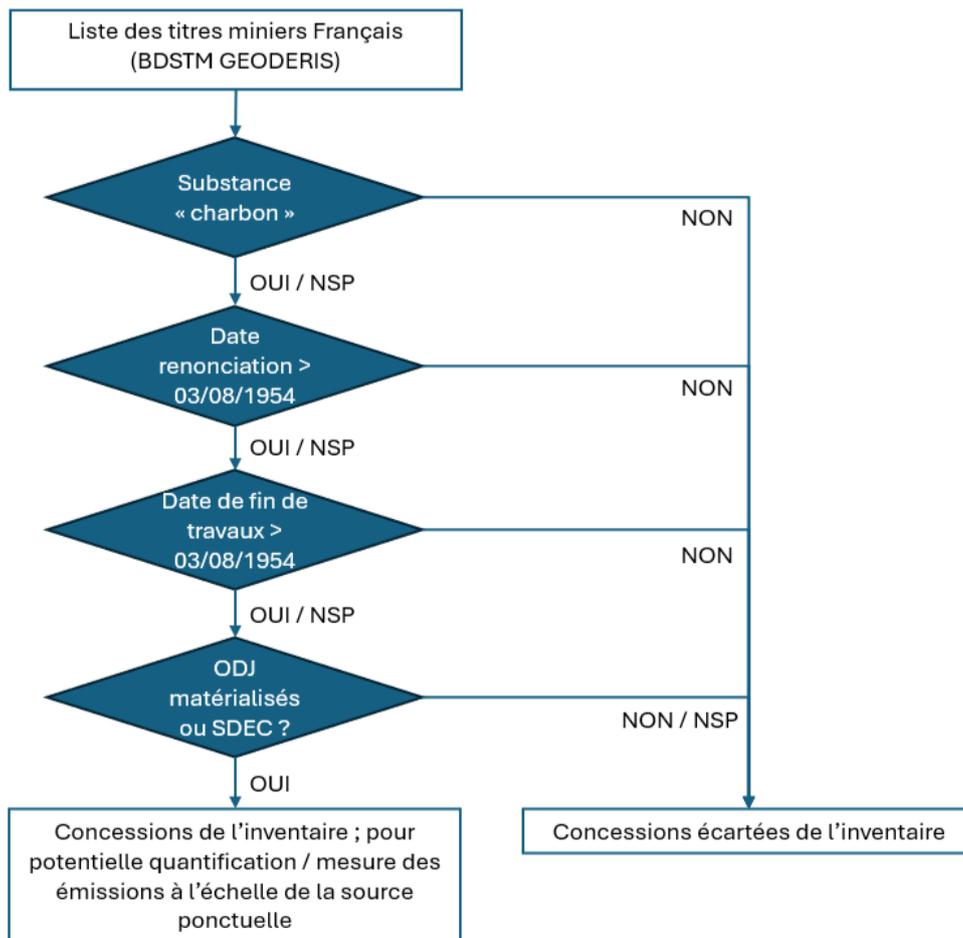


Figure 3 – Logigramme de l'étape de sélection des concessions devant faire l'objet de l'inventaire (et ce, indépendamment des quantités estimées ou mesurées de méthane émises)
NSP – « Ne sait Pas ».

2.2 Sélection des concessions concernées par l'estimation (quantification / mesure) des émissions de CH₄ selon leur état d'ennoyage

À partir de la sélection des concessions à inclure dans l'inventaire, il est possible d'affiner le nombre de concessions dont il faut quantifier/mesurer les émissions de CH₄. En effet, le point 4 de l'article 25 du règlement européen (EU 2024/1787) permet aux autorités compétentes d'**exempter de quantification et de suivi des émissions de CH₄, les concessions totalement ennoyées depuis au moins 10 ans** avant la date de la demande d'exemption, soit au plus tard le 03/08/2016 pour le premier rapport de suivi attendu pour 2026.

Il convient ainsi de catégoriser les concessions de l'inventaire suivant la date d'ennoyage (à embaser) et leur état selon les 5 classes suivantes :

- Ennoyée⁹ : la concession est totalement ennoyée (i.e. toutes les anciennes zones d'exploitation souterraines sont totalement ennoyées indépendamment de tout battement de nappe) ;
- Stabilisée : le niveau de la nappe n'évolue plus, en dehors de variations saisonnières (l'ennoyage minier est terminé) mais une partie des anciennes zones d'exploitation souterraines est hors d'eau ; cette stabilisation s'entend comme résultant de phénomènes naturels (mise à l'équilibre hydrostatique à l'issue de l'arrêt de l'exploitation minière) ou bien d'actions anthropiques (maintien d'un niveau hydrostatique donné par pompage) ;

⁹ Le texte du règlement EU 2024/1787 indique que l'ennoyage total doit être appuyé par la présentation d'un rapport des autorités compétentes justifiant cet état.

- En cours d'ennoyage : l'ennoyage minier après l'arrêt des travaux est en cours, le niveau de la nappe évolue toujours ;
- Au statut d'ennoyage inconnu ;
- Non concernée par l'ennoyage : les anciennes zones d'exploitation souterraines de la concession sont totalement hors d'eau.

Cette classification permet donc de réduire le nombre de concessions pour lesquelles les émissions de CH₄ sont à quantifier vis-à-vis des concessions incluses dans l'inventaire selon le logigramme suivant (Figure 4).

Bien que non explicitement considérées par le texte du règlement EU 2024/1787, les concessions dont le niveau hydrologique est « stabilisé », « en cours d'ennoyage », « non concernées par l'ennoyage » et au statut d'ennoyage « sans information » gagneront à être différenciées des concessions « totalement ennoyées » car celles-ci pourront faire l'objet d'un traitement adapté visant à estimer au plus juste les émissions locales de méthane (cf. § 2.3.2.2 par exemple pour le traitement des concessions au niveau d'ennoyage stabilisé).

Dans un souci de gain de temps, en première approche les concessions de ces 4 types d'ennoyage seront traitées de façon similaire et soumises à la quantification des émissions de CH₄ (ce qui aura pour résultat de maximaliser les émissions estimées de méthane). Le recours à ces différentes catégories permettra néanmoins d'affiner l'approche, dans un second temps, en rentrant dans le détail des conditions hydrogéologiques de la concession étudiée.

Remarques : un rapport d'ennoyage¹⁰ devra être produit et fourni à l'Europe pour les concessions totalement ennoyées et écartés à ce stade de la suite du processus de suivi des émissions.

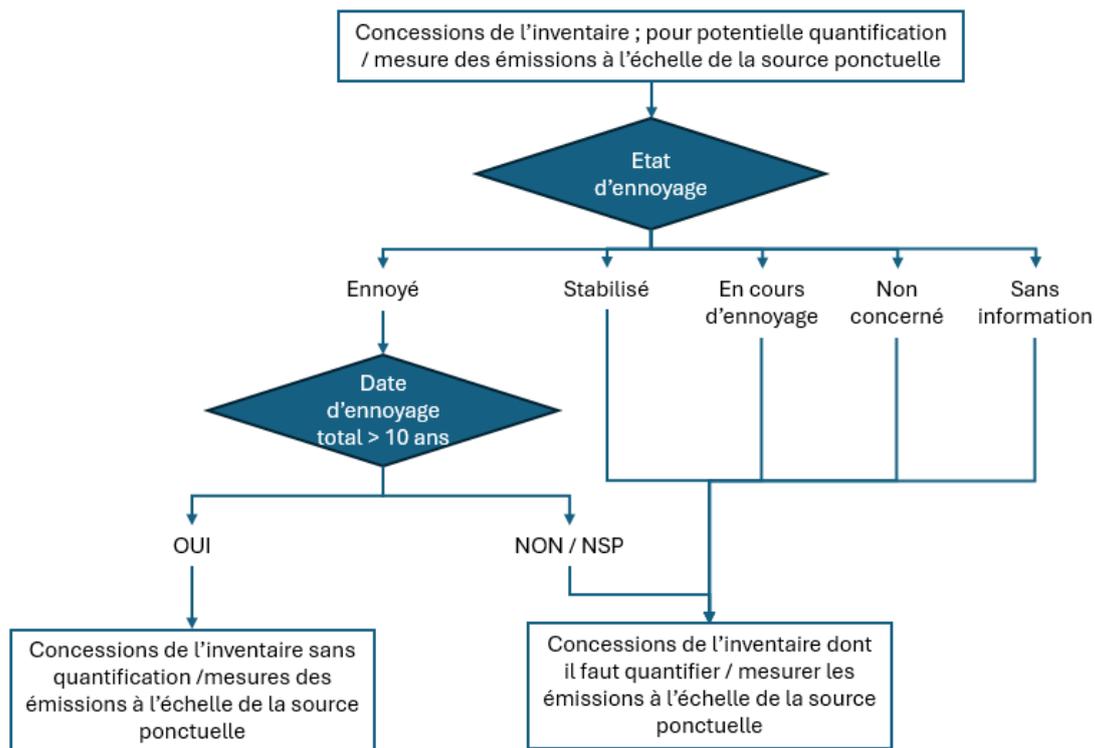


Figure 4 – Logigramme de l'étape de sélection des concessions devant faire l'objet d'estimation des émissions de CH₄ sur la base de leur état d'ennoyage.

¹⁰ Rapport établi par la partie responsable : ce rapport démontre la stabilisation des conditions hydrogéologiques ainsi que l'absence de quantités importantes d'émissions de méthane provenant de la mine de charbon concernée. Les autorités compétentes mettent ce rapport à la disposition du public conformément au droit national.

2.3 Méthodologie d'estimation des émissions de CH₄ de la concession à la source ponctuelle

Le règlement EU 2024/1787 (point 2 de l'article 25) requiert une quantification des émissions de CH₄ à l'échelle de la source ponctuelle afin de mettre en place un suivi long terme des concessions comportant des ouvrages émetteurs (à savoir avec une émission supérieure à 0.5t CH₄/an). Une méthodologie de quantification des émissions de CH₄ est détaillée ci-dessous afin de se conformer aux exigences du règlement. À des fins opérationnelles pour réduire le nombre de sources ponctuelles à inclure dans un suivi potentiel, cette méthodologie propose :

- 1) D'estimer les émissions de méthane à l'échelle de la concession.
- 2) D'estimer les émissions de méthane à l'échelle de la source ponctuelle pour les concessions potentiellement émettrices (à savoir une émission estimée supérieure à 0.5 tCH₄/an à cette échelle).

2.3.1 Méthodologie d'estimation des émissions de CH₄ à l'échelle de la concession

Si une concession émet moins de 0.5 tCH₄/an « estimée », les ODJ et SDEC présents sur son emprise émettent également moins de 0.5 tCH₄/an (et par conséquent la concession peut être écartée du suivi pérenne de l'inventaire). Il s'agit là du postulat de base qui a guidé la méthodologie d'inventaire ainsi que la priorisation opérationnelle des actions à mettre en œuvre pour le renseignement de cet inventaire.

Les paragraphes suivants décrivent donc la méthodologie d'estimation des émissions de CH₄ à l'échelle de la concession (CH_{4,concession}) permettant de hiérarchiser les concessions suivant leurs émissions potentielles (Figure 5). Celles qui posséderont des émissions potentielles inférieures au seuil de 0.5 tCH₄/an, pourront être étudiées de manière plus approfondie dans un second temps (cf. remarque ci-après). Dans le cas où une concession émet potentiellement plus que 0.5 tCH₄/an, il faudra s'intéresser aux émissions de CH₄ à l'échelle de la source ponctuelle (i.e. les ODJ et les SDEC)¹¹.

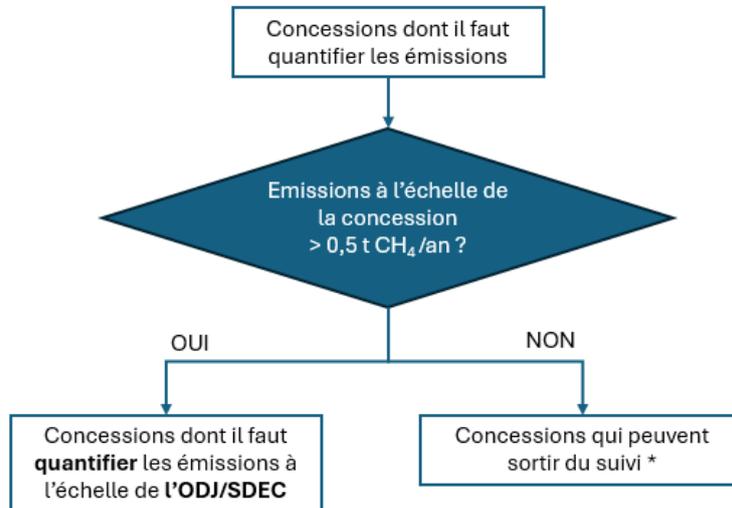


Figure 5 - Logigramme de l'étape de sélection des concessions devant faire l'objet d'une quantification des émissions à l'échelle de la source ponctuelle (ODJ/SDEC).

(*) Remarque : il est recommandé de mener des vérifications in-situ aléatoire visant à valider la concordance des estimations avec les observations de terrain, notamment les cas des concessions estimées à moins de 0.5 tCH₄/an (néanmoins la réalisation de ces observations peut être considérée comme de faible priorité de réalisation au regard des observations de terrain visant à caler le reste de la méthodologie décrite dans ce document).

¹¹ Ce cas est traité en section 2.3.3.

L'un des principes de la méthodologie générale est de prendre en compte et de valoriser la disponibilité des données d'émissions de CH₄ à l'échelle des ODJ et des SDEC, dans le cas où des mesures et/ou un suivi existe(nt). Trois configurations ont donc été identifiées (Figure 6) :

1. L'ensemble des ODJ et SDEC sont déjà suivis au moins de manière ponctuelle. Il est donc possible de calculer les émissions de CH₄ de la concession (CH_{4,concession}) à partir des mesures issues des ODJ et SDEC (CH_{4,source}). Ainsi pour une concession avec N sources (i.e. ODJ ou SDEC) :

$$CH_{4,concession} = \sum_i^N CH_{4,source,i}$$

2. Aucun ODJ ou SDEC n'est suivi au moins de manière ponctuelle. Afin d'estimer les émissions de CH₄ de la concession (CH_{4,concession}), une méthode, basée sur le calcul d'un facteur d'émission (FE), sur de la quantité de CH₄ initialement émise lors de la fermeture de la concession (CH_{4,init}) et sur un coefficient de correction (C_C)¹², est développée en accord avec les recommandations du GIEC sur les inventaires des émissions de méthane (IPCC, 2006, 2019). Cette méthode est développée plus précisément dans la section 2.3.2. Pour une telle concession, les émissions de CH₄ sont définies de la manière suivante :

$$CH_{4,concession} = FE * CH_{4,init} * C_C$$

3. Seulement une partie des ODJ et SDEC sont suivis (au moins de manière ponctuelle). À l'échelle de la concession, la méthode de calcul utilisée est identique à la configuration 2. En revanche, à l'échelle de la source ponctuelle, une approche hybride entre la configuration 1 et 2 sera adoptée. Cette approche est détaillée en section 2.3.3.

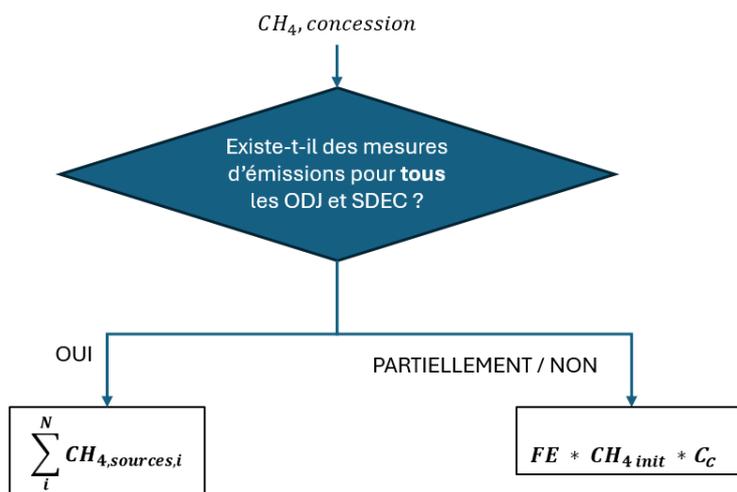


Figure 6 - Logigramme représentant la façon d'estimer les émissions de méthane d'une concession en fonction des informations quantitatives localement disponibles.

Le cas échéant, si un captage du gaz de mine est réalisé sur la concession étudiée (en vue de la valorisation du méthane), il conviendra de retrancher les quantités annuelles de méthane captées aux estimations ci avant proposées.

¹² Le coefficient de correction C_C (compris entre 0 et 1) sera déterminé par confrontation directe des estimations aux mesures réalisées sur le terrain : il rendra ainsi compte à la fois des incertitudes sur les données employées ainsi que des paramètres locaux pouvant influencer sur les résultats (notamment l'ennoyage). Pour l'application pilote présentée dans la suite de ce document, nous emploierons, en première approche, la valeur 1 pour ce coefficient afin de se placer dans une approche volontairement maximisante. Il convient donc de garder à l'esprit que ce parti pris se propagera jusqu'au nombre de concessions et/ou d'ODJ à prendre en compte dans la suite des travaux.

2.3.2 Estimation des émissions de CH₄ à l'échelle de la concession par une approche par facteur d'émission

Dans les cas où l'ensemble des sources ponctuelles ne sont pas caractérisées par des émissions de CH₄ mesurées (ou si les mesures ne permettent pas d'estimer un flux d'émission annuel avec un niveau de représentativité adéquate), il est tout de même possible d'estimer les émissions de CH₄ de la concession à partir d'une approche par facteur d'émission. Cette approche a été initialement développée aux Etats-Unis dans le cadre d'inventaire sur les émissions de méthane issues des mines de charbon (US EPA, 2004a, 2004b) avant d'être largement reprise dans les préconisations du GIEC (IPCC, 2006, 2019). Ainsi, le détail des hypothèses et de la méthode de calcul proposés ci-après sont largement inspirés de ces précédentes études en s'adaptant au contexte français.

Une telle estimation est donc à interpréter au regard des incertitudes et approximations inhérentes à l'approche adoptée, et propose donc de hiérarchiser les concessions concernées selon l'estimation de leurs émissions de CH₄, plutôt que de fournir une valeur d'une robustesse indiscutable. Cette hiérarchisation a ainsi vocation à organiser le déploiement opérationnel de l'inventaire des émissions de CH₄ des mines de charbon en sélectionnant en priorité les concessions réputées les plus émettrices de méthane.

L'approche par facteur d'émission que nous avons retenue¹³ ici requiert :

1. La connaissance des émissions initiales de CH₄ au moment de l'arrêt des travaux sur la concession considérée (estimée à partir de la production de charbon)
2. Le calcul du facteur d'émission en fonction des caractéristiques de la concession :
 - a. État d'ennoyage (totalement ennoyé, stabilisé, ennoyage en cours, non ennoyé et inconnu)
 - b. Substance exploitée (anthracite, lignite, houille)
 - c. Durée depuis l'arrêt des travaux miniers

2.3.2.1 Estimation des émissions de CH₄ initiales à l'échelle de la concession

Afin d'estimer les émissions initiales de CH₄ (exprimées en m³ sur un pas de temps d'un an), en l'absence de données plus spécifiques, la méthodologie se base sur une estimation de la production annuelle moyenne de la concession et d'une grandeur physique représentant la libération de méthane liée à cette production :

$$CH_{4,init} = Prod_{annuelle,moyenne} * [CH_4]_{libérée}$$

avec $\left\{ \begin{array}{l} Prod_{annuelle,moyenne} \text{ [tonnes extraites /an]} \\ [CH_4]_{libéré} : \text{le dégagement de méthane en lien avec la production de charbon [m3 /tonne extraite]} \end{array} \right.$

Dans le cas où ces données ne sont pas disponibles à l'échelle de la concession, l'Ineris propose d'adopter la démarche sécuritaire suivante :

- a. Pour la production annuelle moyenne¹⁴, utiliser celle à l'échelle du bassin minier ;

¹³ D'autres approches, a priori jugées moins fines, sont néanmoins proposées par l'IPCC (2019). Dans une optique d'évaluation de la robustesse de l'approche choisie ici, une étude comparative pourrait être envisagée.

¹⁴ Pour l'application pilote, il a été retenu une approche simplificatrice de la production annuelle moyenne. Ainsi il a été calculé une production annuelle moyenne sur la base des informations disponibles. Le cas échéant, si des données chronologiques de qualité suffisante sont disponibles/mobilisables, cette hypothèse pourra être revue.

- b. Pour la libération de méthane liée à la production, utiliser en première approche la valeur de dégagement spécifique (si disponible) ou, à défaut, le classement grisouteux de la mine proposé par le Tableau 1 : tableau faisant correspondre une valeur numérique à chaque classe du classement grisouteux du charbon exploité (classe déduite des informations bibliographiques recueillies sur le gisement)¹⁵.

Tableau 1 – Valeurs de dégagement spécifique de méthane du charbon en fonction du classement grisouteux de la production.

Classement grisouteux	Nul	Faible	Moyen	Fort ou non connu
Dégagement spécifique de méthane [m ³ / tonnes extraites]	1	5	20	55

Ces valeurs génériques proviennent de l'expertise théorique et opérationnelle de l'Ineris quant à l'évaluation des risques et aléa liés aux émissions de gaz depuis des anciens travaux miniers (notamment issues de Couillet *et al.* (1999)). De nouvelles valeurs plus spécifiques aux différents bassins miniers pourront être proposées à l'avenir (il convient donc d'opter pour une structure d'inventaire permettant de modifier ces valeurs).

2.3.2.2 Calcul des facteurs d'émission

Le calcul du facteur d'émission se base sur l'état hydrogéologique des concessions et de leur classification en fonction de la substance extraite (IPCC, 2006). Afin de correspondre à la classification proposée par le GIEC, les substances « charbonneuses » sont reclassées en 3 catégories suivant le degré de carbonisation du charbon (Tableau 2).

Tableau 2 – Correspondance entre les nomenclatures européenne, de la BDSTM et du GIEC concernant le minerais extrait.

Nomenclature européenne	Nomenclature BDSTM	Nomenclature GIEC
Lignite	Lignite	Sub-bitumineux
Charbon sub-bitumineux	Houille	Sub-bitumineux
Charbon bitumineux	Houille	Bitumineux
Anthracite	Anthracite	Anthracite

Pour chaque classe, et en fonction de l'état hydrogéologique de la concession, une expression du facteur d'émission (FE) est proposée (US EPA, 2004a, 2004b) :

- a. Concession totalement ennoyée¹⁶ : $FE_{flooded} = e^{-D*t}$
 b. Concession non ennoyée : $FE_{unflooded} = (1 + a * t)^b$

Le paramètre t correspond au temps écoulé (exprimé en années) depuis l'arrêt des travaux.

Les paramètres D, a et b (Tableau 3) résultent de simulations numériques modélisant la décroissance des émissions d'une mine de charbon abandonnée suivant différents scénarios étudiés par l'US EPA (US EPA, 2004a, 2004b).

¹⁵ Rappelons qu'en l'absence de connaissance sur le caractère grisouteux du charbon exploité, la valeur la plus pénalisante (c'est-à-dire la valeur la plus élevée) doit être employée.

¹⁶ Dans le cadre de cette méthodologie, cette formule est utilisée pour les concessions totalement ennoyées depuis moins de 10 ans. Une telle formule implique que pour au moins 10 ans d'ennoyage, le facteur d'émission descend à 0.1 %. Ainsi seulement 1 millième des émissions initiales sont considérées comme pouvant être produites par le réservoir minier. En comparaison, un réservoir non ennoyé émet encore environ 27 % des émissions initiales au bout de 10 ans.

Tableau 3 – Valeurs des paramètres a, b et D à employer en fonction du type de minerais extrait (US EPA, 2004a, 2004b).

Paramètres	a	b	D
Anthracite	1.72	-0.58	0.672
Bitumineux	3.72	-0.42	
Sub-bitumineux	0.27	-1	

Afin d'affiner les estimations et de prendre en compte les cas plus complexes des concessions dont le statut hydrogéologique est considéré comme stabilisé sans toutefois envoyer entièrement les travaux miniers, la présente méthodologie propose de modifier l'expression des facteurs d'émissions en ajoutant un taux d'ennoyage, τ (en %) permettant d'appréhender la proportion des travaux miniers envoyés :

$$FE = (1 - \tau) * FE_{unflooded} + \tau * FE_{flooded}$$

avec $FE_{unflooded} = (1+a*t)^b$ où t correspond à la durée depuis l'arrêt des travaux miniers (en années)

$$FE_{flooded} = e^{-D*t}$$

Remarque : À ce stade du développement de la méthodologie, la façon de calculer τ n'est pas encore arrêtée et peut varier selon les concessions en fonction des informations disponibles localement : plusieurs approches sont en cours de réflexion :

- dont en première approche, une expression du rapport de la surface (ou du volume si la donnée est disponible) des travaux miniers envoyés sur la surface totale (ou le volume total le cas échéant) des travaux (cette expression est simplificatrice mais à l'avantage de valoriser des données déjà partiellement embasées) ;
- mais également une approche inverse visant à calculer à partir de quel niveau d'ennoyage les émissions de méthane ne sont plus susceptibles d'atteindre ou de dépasser 0.5 tCH₄ /an ; cf. annexe 3 présentée au §8.3 (par simple comparaison de la valeur d'ennoyage limite avec les connaissances locales d'ennoyage cette expression permet de statuer sur la nécessité de poursuivre ou non les investigations et peut s'accommoder d'un certain niveau d'incertitudes).

Quoiqu'il en soit, la façon d'estimer le taux d'ennoyage doit être décrite dans l'inventaire¹⁷.

2.3.3 Pistes de réflexion sur la méthodologie d'estimation par quantification des émissions de CH₄ à l'échelle de la source ponctuelle

À l'issue de l'estimation des émissions de méthane à l'échelle de la concession, il s'agit de propager cette estimation à l'échelle des sources ponctuelles (ODJ et SDEC), afin d'identifier parmi les concessions qui émettent plus de 0.5 tCH₄ /an (issues des sélections des § précédents) celles comportant des sources qui émettent potentiellement plus de 0.5 tCH₄ /an. Cette propagation permettra ainsi de hiérarchiser à la fois les concessions les plus émettrices mais aussi au sein d'une même concession les sources ponctuelles pouvant dépasser le seuil de 0.5 tCH₄ /an (Figure 7).

Cette hiérarchisation constitue une des clés d'identification des sources ponctuelles à caractériser de façon prioritaire par des investigations in-situ¹⁸. Notons ici que, dans la majorité des cas, les ODJ ont été obturés à la fin de la période d'exploitation industrielle du charbon.

¹⁷ Le cas échéant, en fonction de la complexité hydrogéologique locale, une concession pourra être considérée par sous-ensembles.

¹⁸ Pour mémoire, rappelons que la réglementation EU 2024/1787 impose la surveillance des sources ponctuelles émettant plus de 0.5 tCH₄ /an : la mise en place de la surveillance constitue l'étape suivant la réalisation de l'inventaire, cette étape n'est pas donc traitée dans ce document.

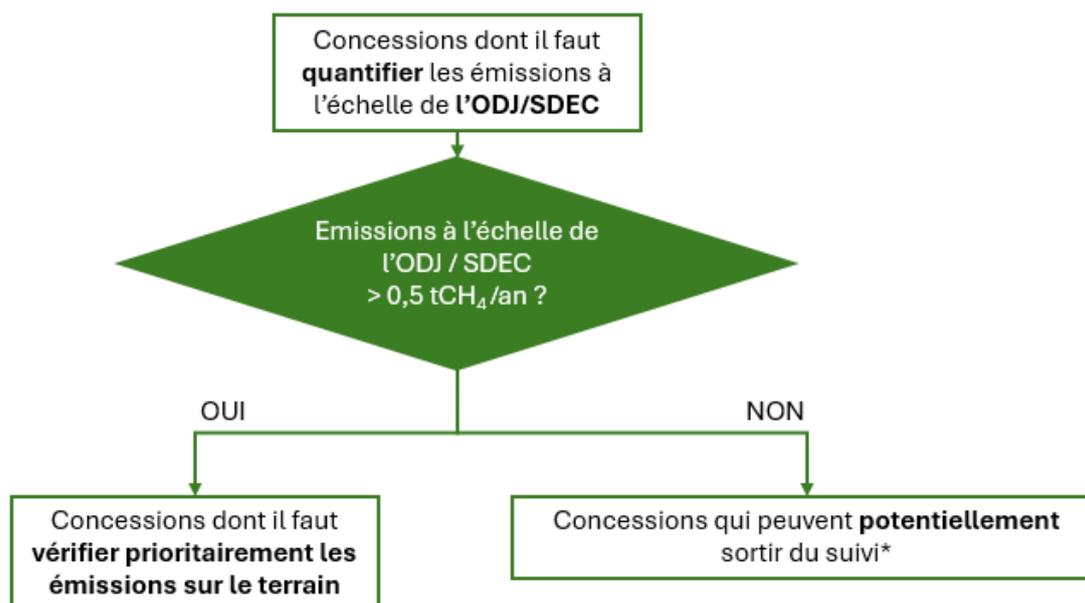


Figure 7 - Logigramme représentant les suites à donner en termes d'investigations à mener in-situ en fonction de l'importance de l'estimation des émissions locales de méthane.

(* Remarque : il est recommandé de mener des vérifications in-situ aléatoire visant à valider la concordance des estimations avec les observations de terrain, notamment les cas des ODJ/SDEC estimés à moins de 0.5 tCH₄/an (néanmoins la réalisation de ces observations peut être considérée comme de moindre priorité de réalisation au regard des observations de terrain visant à caler le reste de la méthodologie décrite dans ce document).

Cette méthodologie prend en compte la disponibilité des données d'émissions de CH₄ à l'échelle des ODJ et des SDEC, dans le cas où des mesures et/ou un suivi existe(nt). Trois configurations ont donc été identifiées :

1. L'ensemble des ODJ et SDEC est déjà suivi (au moins de manière ponctuelle). Une estimation peut donc être produite à partir de ce suivi¹⁹
2. Aucun ODJ ou SDEC n'est suivi (au moins de manière ponctuelle). Afin d'estimer les émissions de CH₄ des sources ponctuelles, l'émission totale estimée à l'échelle de la concession est répartie en fonction du nombre de sources ponctuelles et de leur diamètre efficace (D_{eff}) qui correspond au diamètre moyen de l'ouverture par laquelle les échanges gazeux s'effectuent. Ainsi pour une source « u » d'une concession avec N sources ponctuelles :

$$CH_{4,source,u} = \frac{D_{eff,u}}{\sum_i^N D_{eff,i}} CH_{4,concession}$$

3. Seulement une partie des ODJ et SDEC sont suivis (au moins de manière ponctuelle). Une approche hybride entre les configurations 1 et 2 est donc retenue. Ainsi pour une source « u » d'une concession avec N sources ponctuelles, dont « p » sources sont suivies¹⁹ :

$$CH_{4,source,u} = \begin{cases} \text{estimation à partir de la mesure si existe} \\ \frac{D_{eff,u}}{\sum_i^{N-p} D_{eff,i}} * \left(CH_{4,concession} - \sum_i^p CH_{4,source,i} \right) \end{cases}$$

¹⁹ Cette estimation des émissions de CH₄ à l'échelle des ODJ et des SDEC suivis ne peut se faire qu'à condition que le nombre de mesures soit jugé suffisant et que la limite de quantification de l'appareillage soit adaptée aux mesures à effectuer : ces deux limitations seront donc à discuter dans ce cas de figure.

Diamètre efficace :

La définition du diamètre efficace d'un ouvrage a pour objectif de prendre en compte le caractère plus ou moins fuyard d'un ouvrage (en partie) bouché. Notons que l'information sur les diamètres efficaces des différentes sources ponctuelles n'est à ce jour pas embasée, des investigations in-situ s'avèrent donc nécessaires.

Le calcul du diamètre efficace d'un ouvrage pourra être affiné dans une mise à jour ultérieure de cette méthodologie.

Par défaut de connaissance sur le diamètre efficace, il est proposé de :

- considérer qu'un ouvrage (en partie) bouché n'émet que l'équivalent de 10 % des émissions de CH₄ dont il serait à l'origine s'il n'était pas bouché. Cette approximation, obtenue à dire d'experts, devra être reconsidérée une fois que les constations de terrain auront été réalisées.
- considérer de manière maximale les ouvrages sans information de bouchage comme « ouverts » que toute la section de l'ouvrage participe à l'émission du CH₄.

Ainsi,

$$D_{eff} = \begin{cases} 4 \text{ m} & \text{sinon} \\ 2 * \sqrt{\frac{Section_{ouvrage}}{\pi}} & \text{si } Section_{ouvrage} \text{ est connue} \end{cases}$$

- considérer qu'un ouvrage pour lequel des informations sur le bouchage sont disponibles, cohérentes avec une étanchéification de l'ouvrage et dont la réalité sur le terrain a été attestée n'est pas émetteur (mesure ponctuelle attestant l'absence d'émanation²⁰ de CH₄). Pour ce faire, et à défaut de méthodologie plus fine, nous proposons d'utiliser une valeur seuil équivalente à 2 fois le bruit de fond atmosphérique.

2.4 Vérification sur le terrain des estimations et protocole de mesure ponctuelle des émissions de CH₄ sur les ODJ et SDEC potentiellement émetteurs

À partir de la méthodologie de sélection et hiérarchisation des concessions concernées par l'inventaire et pouvant faire l'objet d'un suivi long terme, 4 grandes classes de concessions peuvent être définies (Figure 8) :

1. Les concessions totalement ennoyées non concernées par le suivi pérenne
2. Les concessions dont l'estimation des émissions totales est inférieure à 0.5 tCH₄/an
3. Les concessions dont l'estimation des émissions totales est supérieure à 0.5 tCH₄/an mais dont les estimations pour les ODJ et SDEC pris individuellement sont inférieures à 0.5 tCH₄/an
4. Les concessions dont l'estimation totale des émissions est supérieure à 0.5 tCH₄/an et dont tout ou partie des estimations calculées pour les ODJ et/ou des SDEC sont supérieures à 0.5 tCH₄/an

La première classe de concession ne nécessite pas de vérification sur le terrain pour être exemptée de suivi pérenne.

En revanche pour les classes 2 et 3, bien que le règlement EU 2024/1787 n'impose pas la mise en place d'un suivi pérenne, nous recommandons une vérification ponctuelle sur le terrain des émissions réelles des ODJ/SDEC (a minima pour une partie de ceux-ci, à titre de vérification des méthodes d'estimations employées), vérification qui pourrait être priorisée en fonction de l'impact des estimations réalisées vis-à-vis du seuil réglementaire des 0.5 tCH₄/an. Il sera néanmoins utile d'associer à cette approche hiérarchisée un minimum de mesures réalisées sur un échantillon de « priorité faible » afin de tester la robustesse de l'approche.

La quatrième classe, quant à elle, demande la mise en place d'un suivi pérenne des ODJ/SDEC. À l'issue de la vérification de terrain, si les estimations et les vérifications de terrain coïncident, le nombre de concessions effectivement concernées par le suivi pérenne pourra être arrêté : le cas échéant, s'il

²⁰ En France, de telles études et mesures ont été menées sur plusieurs des bassins miniers par GEODERIS au titre des études d'aléas gaz.

est observé des incohérences, la méthodologie pourra être amenée à être adaptée²¹ (ou tout du moins certains des facteurs d'estimation employés).

Bien que non précisé par le règlement, précisons que, dans la limite de la faisabilité dans les délais imposés par la réglementation EU 2024/1787, il nous apparaît important de planifier les vérifications de terrain dans des conditions où les émissions de méthane sont les plus susceptibles de se produire (par exemple dans des conditions météorologiques dépressionnaires, dans des situations peu ventées...)²².

Le protocole de ces vérifications de terrain (informations à récolter y compris la prise de photo, nombre et emplacement des mesures à réaliser, caractéristique des appareils de mesure à déployer, ...) sera précisé en annexe dans une version ultérieure de ce rapport.

Notons qu'en plus de permettre l'identification des concessions pour lesquelles un suivi pérenne de tout ou partie des ODJ/SDEC est à prescrire, les vérifications à mener sur le terrain ont également comme objectif, au sein de chacune des concessions, de déterminer les sources ponctuelles sur lesquelles le suivi pérenne devra localement être mis en place.

²¹ Pour ce faire, le résultat de la confrontation des vérifications de terrain à l'estimation initiale doit être remonté à l'Ineris afin de nourrir ses réflexions.

²² Le texte du règlement EU 2024/1787 (article 32) précise à ce sujet que des prescriptions techniques sont attendues. Ces prescriptions ne sont pas disponibles à la date de rédaction de ce document.

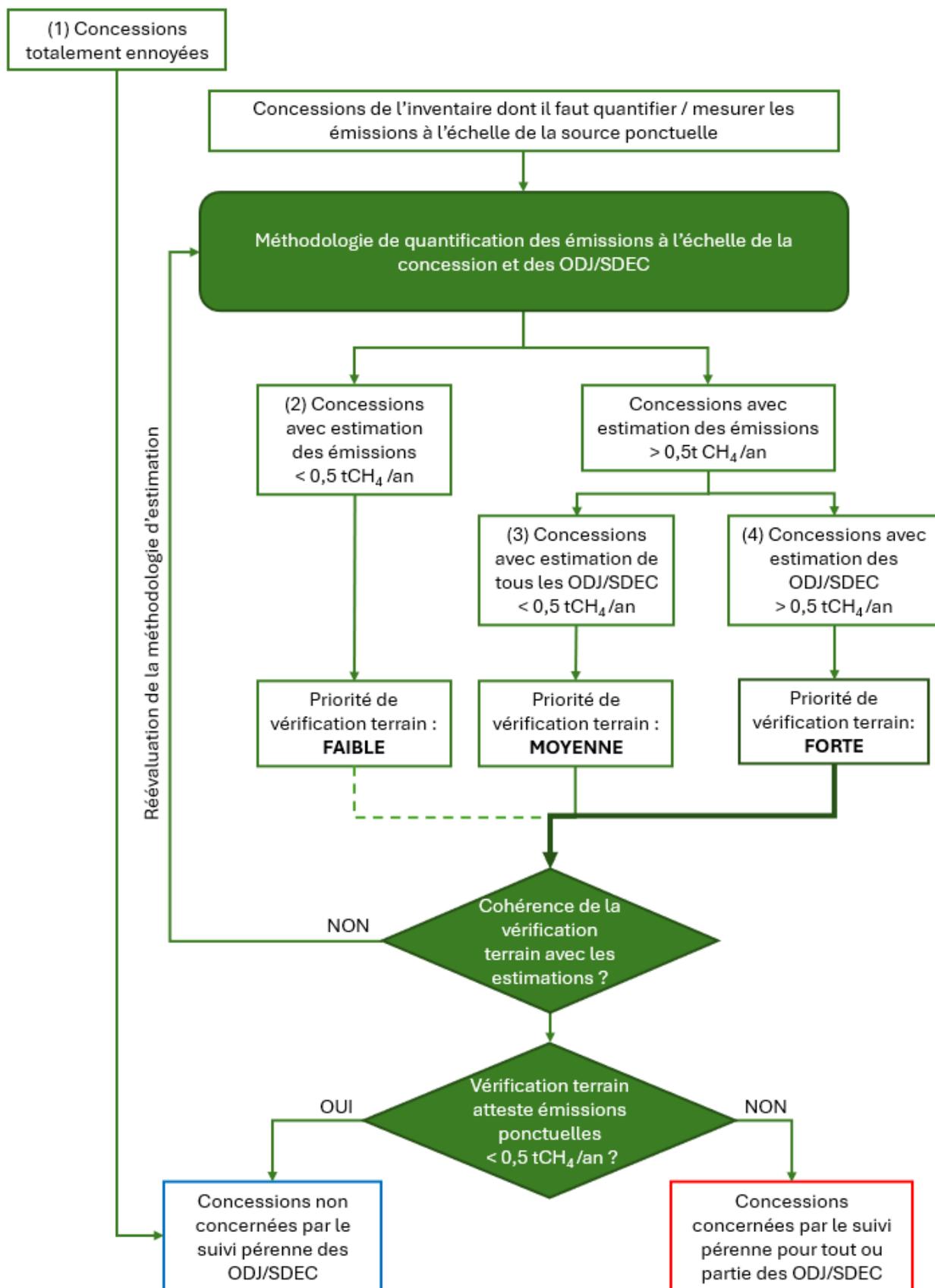


Figure 8 - Logigramme représentant les suites à donner en termes d'investigations à mener in-situ en fonction de l'importance de l'estimation des émissions de méthane à l'échelle de la concession (ou des ODJ/SDEC).

3 Formalisme à adopter pour l'inventaire

La traçabilité de l'ensemble des étapes décrites précédemment dans ce document doit être assurée : l'ensemble des données doit ainsi être archivé tout comme les hypothèses utilisées pour aboutir aux estimations.

Le texte du règlement EU 2024/1787 ne précise pas le formalisme attendu, néanmoins il semble raisonnable de préconiser une combinaison de plusieurs éléments :

- un ensemble de données numériques, selon :
 - o Un fichier QGIS (proposition détaillée en annexe cf. §8.2.2)
 - o Un fichier Microsoft excel (proposition détaillée en annexe cf. § 8.2.6)
- un ensemble de documents (dont la mise à disposition est exigée par le règlement EU 2024/1787) référencé et stocké au sein d'un espace dédié :
 - o Cartes donnant l'extension des concessions
 - o Cartes donnant l'emplacement des ouvrages et leur état de scellement
 - o Rapports hydrogéologiques
 - o Rapports sur la fin des travaux

Pour l'application réalisée sur le territoire national, le format des fichiers QGIS et Microsoft excel à adopter sera proposé par GEODERIS et partagé à tous les partenaires mobilisés pour la réalisation de cet inventaire. Le fichier excel, une fois renseigné, est pensé pour constituer le document qui sera communiqué aux autorités européennes au titre du reporting du règlement EU 2024/1787.

Notons néanmoins que des consultations à l'échelle de l'Europe sont en cours et pourraient aboutir à l'édiction d'un format commun (le cas échéant, une future version de la méthodologie intégrera ces exigences).

4 Application pilote de la méthodologie

La méthodologie présentée ci-avant a été déployée au cours de l'année 2024 (sur la base des informations disponibles à cette date) dans l'objectif, non pas de réaliser un inventaire exhaustif mais plus précisément dans l'objectif de tester la faisabilité de la méthodologie projetée.

Les résultats obtenus dépendant des données et des informations disponibles à la date des calculs réalisés (2024), nous attirons l'attention du lecteur plus sur le retour d'expérience que sur les chiffres exposés qui devront être réinterrogés en 2025 à la lumière d'informations actualisées et des ajustements méthodologiques apportées récemment.

4.1 Sélection des concessions concernées par la phase d'inventaire

Dans le but de tester la faisabilité de la méthodologie présentée, l'Ineris l'a appliqué sur un cas pilote à partir des données dont elle disposait à date du 28/08/2024.

À l'issue du processus de sélection, environ 146 concessions seraient concernées par la phase d'inventaire. Cela correspond à environ 2 730 ODJ auxquels il faut ajouter les SDEC (cf. Figure ci-après).

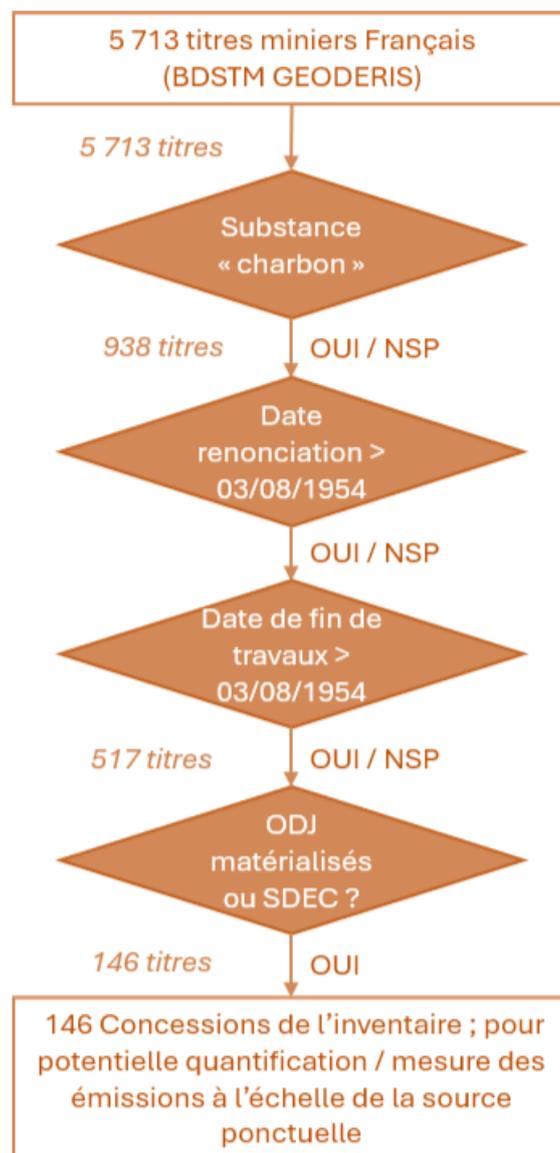


Figure 9 – Résultats chiffrés (en concessions) de l'application de la méthodologie menée à titre exploratoire par l'Ineris.

4.2 Sélection des concessions de l'inventaire dont les émissions de CH₄ doivent être estimées sur la base d'informations mobilisées quantitatives (quantifiées et/ou mesurées) à travers l'application de la méthodologie menée à titre exploratoire par l'Ineris - État d'ennoyage des concessions

Parmi les 146 concessions concernées par l'inventaire, à la vue des informations disponibles en 2024, 13 sont réputées totalement ennoyées depuis plus de 10 ans.

La suite de la réflexion sur l'implantation de l'instrumentation (sur des sources ponctuelles émettant plus de 0.5 tCH₄/an) doit donc être menée sur les 133 concessions restantes (Figure 10).

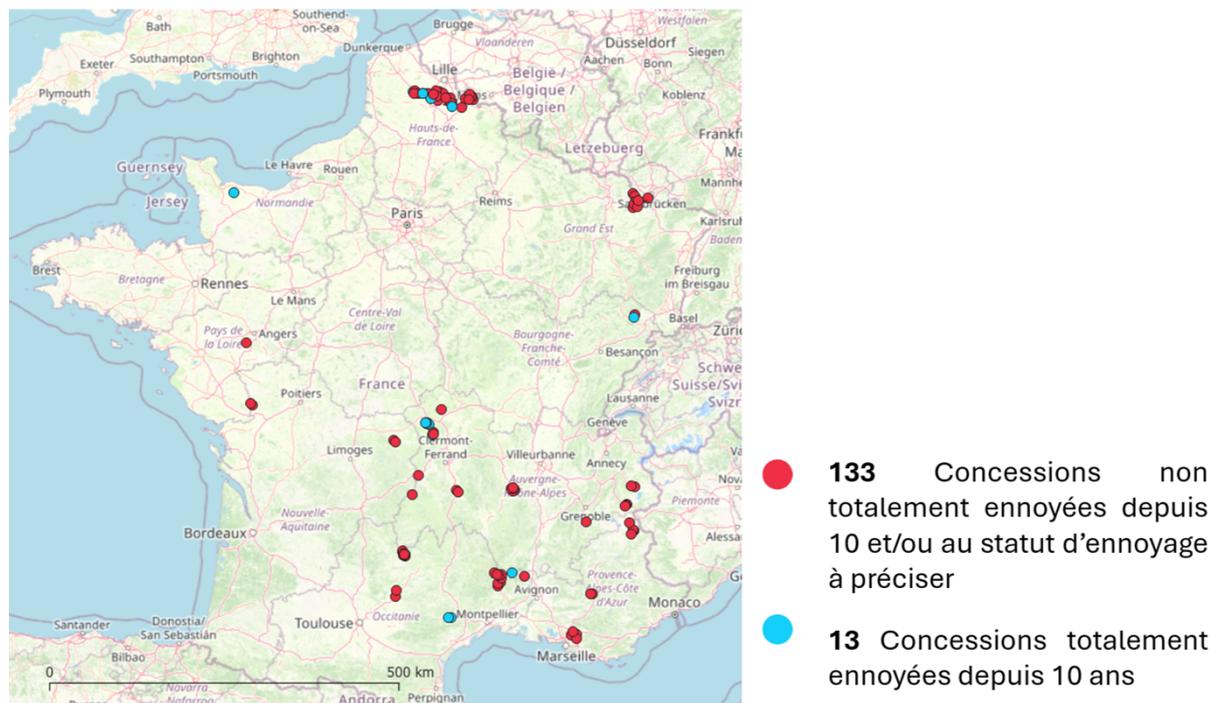


Figure 10 – Localisation des 133 concessions non totalement ennoyées depuis 10 ans ou plus identifiées à travers l'application de la méthodologie menée à titre exploratoire par l'Ineris.

4.3 Estimation des émissions de CH₄ à l'échelle de la concession par une approche par facteur d'émission à travers l'application de la méthodologie menée à titre exploratoire par l'Ineris : résultats préliminaires

L'estimation des émissions de méthane à l'échelle de la concession permet de hiérarchiser les concessions à visiter sur le terrain et d'avoir un ordre de grandeur des concessions pouvant potentiellement sortir du suivi pérenne après vérification sur le terrain.

Ainsi sur les 133 concessions pouvant faire l'objet d'un suivi des émissions, 100 montrent une estimation des émissions inférieures au seuil des 0.5 tCH₄/an et 9 concessions n'ont pas pu faire l'objet d'une estimation des émissions par manque d'information. Ainsi à l'échelle de la concession il y aurait 109 concessions dont il faudrait vérifier les émissions sur le terrain (Figure 11).

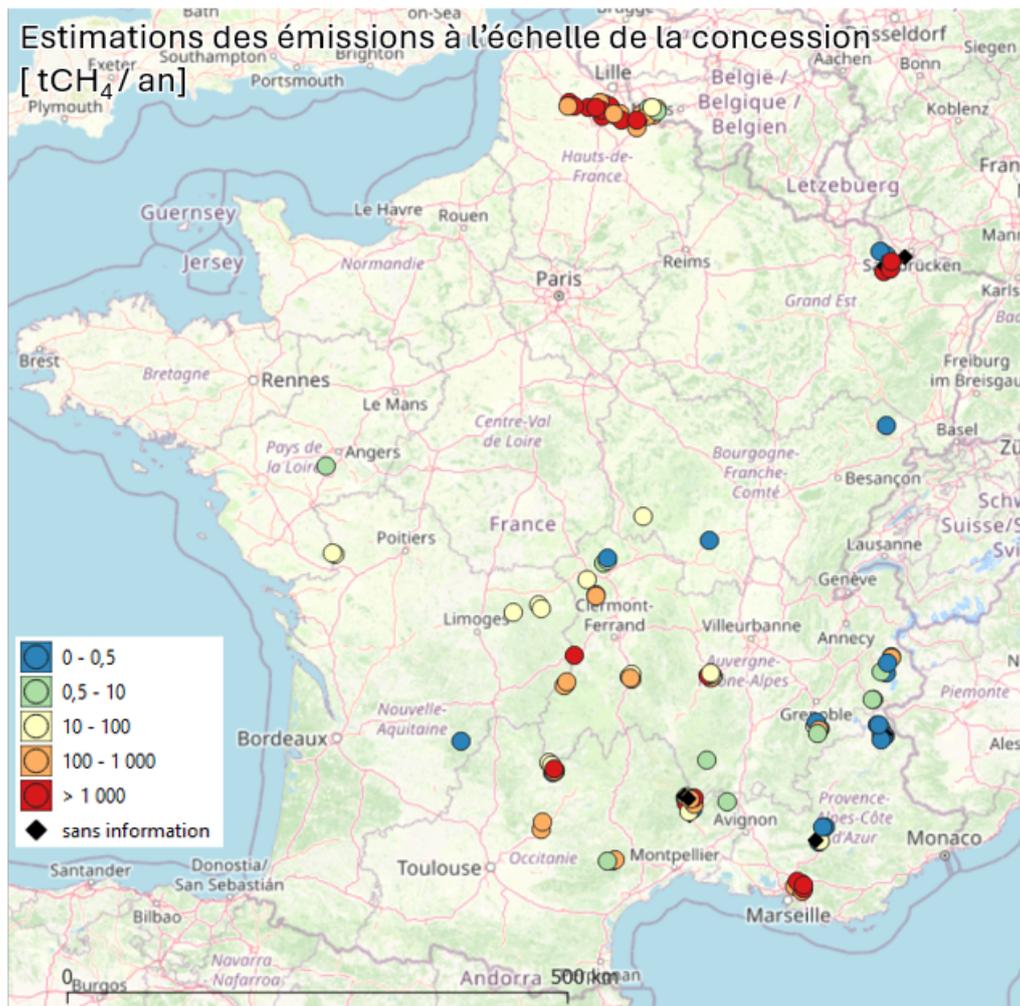


Figure 11 – Localisation des 109 concessions non totalement ennoyées depuis 10 ans ou plus identifiées à travers l'application de la méthodologie menée à titre exploratoire par l'Ineris (estimations exprimées en t CH₄/an).

Afin d'aller plus loin dans la hiérarchisation des concessions, le calcul des émissions a été propagé à l'échelle de l'ouvrage. Il y aurait ainsi 1 769 ouvrages dont l'estimation des émissions est supérieure à 0.5 tCH₄/an, et donc à aller vérifier sur le terrain. A partir du filtrage des ouvrages par leurs émissions, le nombre de concessions possédant au moins un ouvrage émettant plus de 0.5 tCH₄/an est de 102.

De plus, il est encore possible d'affiner cette estimation une fois les données d'ennoyage renseignées dans les bases de données. En effet le calcul du taux d'ennoyage limite par obtenir une émission de CH₄ à l'échelle de l'ouvrage inférieure à 0.5 tCH₄/an montre qu'environ 450 ouvrages n'émettent plus dès que la concession concernée est ennoyée à plus de 80 % (Figure 12.b). Une telle configuration concerne 16 concessions (Figure 12.c). Ces concessions sont principalement situées dans des vieux bassins miniers comme les Alpes ou dans le Nord du Massif central (Figure 12.a).

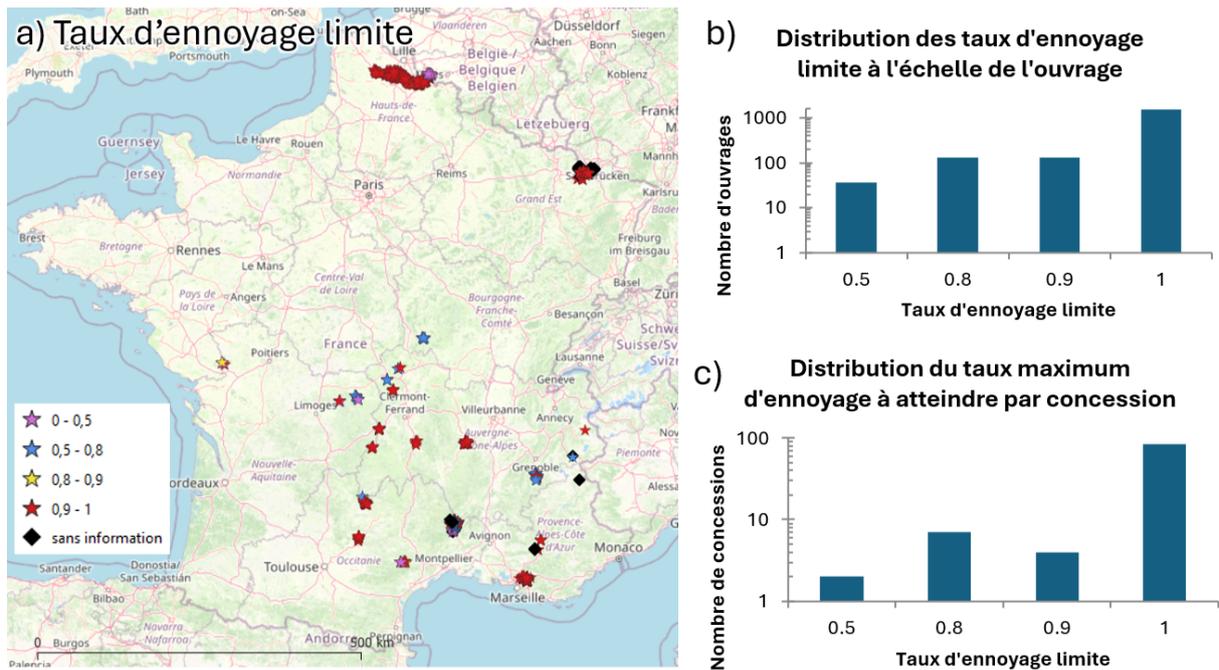


Figure 12 – a) Distribution spatiale des estimations du taux d'ennoyage limite des ouvrages à atteindre pour émettre moins de 0.5 tCH₄/an identifiées à travers l'application de la méthodologie menée à titre exploratoire par l'Ineris ; b) Distribution des estimations du taux d'ennoyage limite des ouvrages à atteindre pour émettre moins de 0.5 tCH₄/an ; c) Distribution du taux maximum d'ennoyage à atteindre par concession pour n'avoir plus aucun ouvrage émettant plus de 0.5 tCH₄/an.

Cette application pilote montre ainsi qu'il **est possible de hiérarchiser les concessions** ainsi que les ouvrages à partir des informations potentiellement incomplètes des bases de données existantes vis-à-vis des besoins de la méthodologie développée. En revanche, **les valeurs de quantification des émissions de méthane demandent à être confrontées à des mesures de terrain** et à minima comparées avec l'expérience acquise lors des études d'aléa gaz précédemment menées sur les bassins miniers²³, afin de qualifier au mieux l'écart entre la quantification par des hypothèses majorantes et des données du GIEC issues du cas américain et la réalité du terrain²⁴.

²³ Pour mémoire, théoriquement, pour un ODJ type avec un diamètre de 20 cm et un débit de 0.5 m/s, il suffit d'une concentration en méthane de 0.154 % pour atteindre un flux de 0.5 t/an. Cette concentration en méthane tombe à 3.8 ppm pour un ODJ type avec un diamètre de 2 m.

²⁴ Dans une version ultérieure de la méthodologie, il est donc ainsi envisagé que des valeurs correspondant au coefficient de correction CC (cf. §2.3.1) soient proposées.

5 Recommandations

Ce document constitue une aide opérationnelle aux acteurs impliqués dans l'établissement d'un inventaire des émissions de méthane depuis les anciens sites miniers souterrains d'exploitation de charbon tel que défini au titre du règlement européen EU 2024/1787. Il décrit « pas à pas » et de façon opérationnelle les étapes préconisées pour aboutir à un inventaire qualitatif. Néanmoins, la réalisation de cet exercice implique à la fois un grand nombre de données dont la qualité peut être disparate ainsi que le recours à des estimations dont la pertinence devra être interrogée : un regard critique doit donc accompagner la mise en application de la méthodologie

Plus en détails, la méthodologie ici présentée a été élaborée sur la base des connaissances des phénomènes physiques à l'œuvre permettant de décrire les émissions de méthane des anciens travaux miniers souterrains de charbon mais s'appuie également sur les données pertinentes pour notre approche et disponibles en 2024. De façon générale, si des données quantitatives de qualité sont disponibles pour rendre compte des émissions de méthane, celles-ci doivent être considérées de façon préférentielle aux approches estimatives dont les formules de calcul sont fournies par défaut dans ce document.

La méthodologie proposée a vocation à être appliquée de façon similaire sur l'ensemble du territoire métropolitain français afin d'assurer l'homogénéité des informations qui en découleront.

Notons que ce document a vocation à être éventuellement compléter et mis à jour dans les années à venir afin de tenir compte de l'évolution des connaissances, des outils et de la complétude des bases de données employées.

6 Références

- Couillet, J.-C., Pokryszka, Z., & Tauziède, C. (1999). *Synthèse des connaissances sur les caractéristiques des principaux gisements de charbon français relatives au grisou* (INERIS-DRS-99-22752/R0 1). Ineris.
- IPCC. (2006). Chapter 4: Fugitive Emissions. In *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Vol. 2: Energy*. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>
- IPCC. (2019). Chapter 4: Fugitive Emissions. In *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Vol. 2: Energy*. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol2.html>
- Règlement (UE) 2024/1787 du Parlement européen et du Conseil du 13 juin 2024 concernant la réduction des émissions de méthane dans le secteur de l'énergie et modifiant le règlement (UE) 2019/942 (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE) (2024). <http://data.europa.eu/eli/reg/2024/1787/oj/fra>
- US EPA. (2004a). Methane Emissions from Abandoned Coal Mines in the United States: Emission Inventory Methodology and 1990-2002 Emissions Estimates. *US Environmental Protection Agency*.
- US EPA. (2004b). Proposed Methodology for Estimating Emission Inventories from Abandoned Coal Mines. *US Environmental Protection Agency*.

7 Glossaire

BDSTM ou Base de Données des Sites et Titres miniers : Système d'informations géographique exploité et entretenu par GEODERIS destiné à bancariser, pérenniser et valoriser le travail de ses experts dans le domaine des anciens sites et titres miniers et de le mettre à disposition des services des administrations déconcentrées et centrale de l'État.

Concession : La concession est l'acte par lequel l'État accorde à une personne le droit d'exploiter une substance de la classe des mines. Elle est accordée par décret en conseil d'État, au terme d'une procédure définie par le décret n° 2006-648 du 2 juin 2006²⁵. NB : une concession n'accorde pas à son titulaire le droit de réaliser les travaux de recherche ou d'exploitation de mines. Ceux-ci sont soumis à une procédure préalable spécifique d'ouverture de travaux.

Dégagement spécifique moyen : Grandeur physique définit dans le cadre de ce travail, le dégagement spécifique moyen est spécifique au minerai exploité et correspond à l'émission d'un gaz (le méthane dans ce travail) par unité de masse du minerai extrait, et ce à la date où l'extraction a été réalisée.

Facteurs d'émission : Pour ce document, les facteurs d'émission sont des valeurs chiffrées permettant de convertir une donnée quantifiable dans un secteur industriel donné (la production de charbon pour le secteur des exploitations minières souterraines pour ce rapport) en émissions de gaz à effet de serre (ici les émissions de méthane exprimées en unité de masse par unité de temps).

Méthane : Le méthane est, après le dioxyde de carbone (CO₂), le gaz qui contribue globalement le plus au changement climatique ; il est responsable d'environ un tiers du réchauffement actuel. La quantité de méthane dans l'atmosphère au niveau mondial a connu une forte augmentation ces dix dernières années. Selon le GIEC, le potentiel de réchauffement global du méthane est 29,8 fois plus élevé que celui du CO₂ sur une période de 100 ans et de 82,5 fois plus élevé sur une période de 20 ans²⁶.

SDEC ou sondage de décompression : Des sondages de décompression sont forés aux points hauts du réservoir de gaz de mine afin de permettre une décompression "passive" en continu du réservoir²⁷. Dans le cadre de la présente méthodologie, seuls les SDEC atteignant directement les travaux miniers souterrains sont à considérés.

Titre minier : En France, les règles régissant l'exploitation du sous-sol sont définies par le code minier. Ce texte prévoit deux sortes de titres miniers : le permis exclusif de recherche (PER) et la concession²⁵.

²⁵ Selon <https://www.nouvelle-aquitaine.developpement-durable.gouv.fr/titres-miniers-per-concession-a9454.html> (consulté le 11/12/2024).

²⁶ Selon le préambule du règlement EU 2024/1787.

²⁷ Selon <https://www.brgm.fr/fr/reference-projet-acheve/gaz-mine-methodologie-maitriser-risque-bassins-houillers> (consulté le 11/12/2024).

8 ANNEXES

Liste des annexes :

- Annexe 1 : Règlement EU 2024/1787 (version française)
- Annexe 2 : Méthodologie clés en main de l'inventaire des mines de charbon
- Annexe 3 : Méthodologie de l'estimation des émissions de CH₄ pour les concessions en cours d'envoyage ou stabilisées

8.1 Annexe 1 : Règlement EU 2024/1787 (version française)

Règlement (UE) 2024/1787 du Parlement européen et du Conseil du 13 juin 2024 concernant la réduction des émissions de méthane dans le secteur de l'énergie et modifiant le règlement (UE) 2019/942 (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE)

Texte complet disponible à l'adresse suivante²⁸ : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX:32024R1787>

Ce texte regroupe une série de préconisations quant à la mesure, à la quantification, à la surveillance, à la déclaration des émissions de méthane dans le secteur de l'énergie dans l'Union européenne.

En autres secteurs industriels concernés par ce texte, le secteur des anciennes exploitations souterraines de charbon le règlement traite sont concernées.

De surcroit, chaque État membre doit désigner une ou plusieurs autorités compétentes chargées d'assurer une surveillance de l'application de ce texte et de veiller à son respect.

²⁸ Site consulté le 11/12/2024

8.2 Annexe 2 : Méthodologie « clés en main » de l'inventaire des mines de charbon

8.2.1 Données requises pour sélectionner les concessions concernées par l'inventaire, le suivi ainsi que les données requises pour compléter l'inventaire

8.2.1.1 Données pour la sélection des concessions concernées par l'inventaire

- 1) Substance extraite [source : colonne de la couche QGIS Sites_Miniers de la BDSTM]
- 2) Date de renonciation des concessions travaux [source : colonne de la couche QGIS Sites_Miniers de la BDSTM]
- 3) Date de fin de travaux [source : colonne de la couche QGIS Sites_Miniers de la BDSTM ou base documentaire de la BDSTM ou rapport embasé chez GEODERIS]
- 4) Rapport de fin de travaux [source : base documentaire de la BDSTM ou rapport embasé chez GEODERIS]
- 5) Base de données des ouvrages (ODJ et SDEC) avec les informations sur leur localisation (matérialisé ou non) [source : couche QGIS Ouvrages de la BDSTM]

8.2.1.2 Données complémentaires requises pour compléter l'inventaire

Ces données serviront à remplir le tableau à rendre à l'Union Européenne (cf. §8.2.6.)

- 1) Adresse de la concession : commune « centrale » à la concession [source : Géoportail]
- 2) Carte indiquant l'extension des travaux miniers [source : couche Emprise_exploitation de la BDSTM]
- 3) Carte indiquant la localisation des ouvrages miniers et leur statut (bouchés ou non) [source : couche QGIS Ouvrages de la BDSTM]
- 4) Pour chaque ouvrage :
 - a. Le type d'ouvrage [source : colonne de la couche QGIS Ouvrages de la BDSTM]
 - b. Les coordonnées de l'ouvrage [source : colonne de la couche QGIS Ouvrages de la BDSTM]
 - c. Le nom de l'ouvrage [source : colonne de la couche QGIS Ouvrages de la BDSTM]
 - d. L'état de scellement et la méthode de scellement si connus [source : colonne de la couche QGIS Ouvrages de la BDSTM]

8.2.1.3 Données pour la sélection des concessions concernées le suivi pérenne

8.2.1.3.1 À l'échelle de la concession

- 1) Situation hydrogéologique (5 cas possibles) [source : colonne de la couche QGIS Sites_Miniers de la BDSTM ou base documentaire de la BDSTM ou rapport embasé chez GEODERIS]
 - Totalement ennoyée, sera embasée comme « Ennoyée »
 - Partiellement ennoyée et stabilisée, sera embasée comme « Stabilisée »
 - En cours d'ennoyage sera embasée comme « Ennoyage en cours »
 - Non concernée sera embasée comme « NC »
 - Sans information sera embasée comme « NSP »
- 2) Rapport sur la situation hydrogéologique [rapport à embaser- GEODERIS]
- 3) Date du rapport sur la situation hydrogéologique [rapport à embaser- GEODERIS]
- 4) Situation grisouteuse (4 cas possibles, se référer au classement grisouteux du gisement) [source : base documentaire de la BDSTM ou rapports embasés chez GEODERIS ou bien encore colonne de la couche QGIS Sites_Miniers de la BDSTM ou]
 - Pas de grisou sera embasé comme « Nul »
 - Présence faible de grisou sera embasé comme « Faible »
 - Présence moyenne de grisou sera embasé comme « Moyen »
 - Présence forte de grisou sera embasé comme « Fort »
- 5) Rapport sur la situation grisouteuse [rapport à embaser - GEODERIS]
- 6) Date du rapport sur la situation grisouteuse [rapport à embaser - GEODERIS]

- 7) Production totale avant fermeture de la mine (3 cas possibles) [source : colonne de la couche QGIS Sites_Minières de la BDSTM ou base documentaire de la BDSTM ou rapport embasé chez GEODERIS]
 - Données déjà sommées pour une période donnée
 - Données annuelles parcellaires : Faire la somme discrète pour chaque année où il y a une production
 - Mélange de données hebdomadaires, mensuelles, annuelles sur différentes périodes : Convertir toutes les données en données annuelles puis faire la somme discrète pour chaque année où il y a une production
- 8) Date de début de la production : [source : base documentaire de la BDSTM ou rapport embasé chez GEODERIS]
 - Première année pour laquelle on a une information sur la production
- 9) Date de fin de production [source : base documentaire de la BDSTM ou rapport embasé chez GEODERIS] :
 - Dernière année pour laquelle on a une information sur la production
- 10) Rapport sur la production [rapport à embaser - GEODERIS]
- 11) Dégagement spécifique (3 cas possibles) [source : base documentaire de la BDSTM ou rapport embasé chez GEODERIS]
 - On a une valeur pour une veine ou la concession : on prend cette valeur
 - On a plusieurs valeurs pour la concession : on prend la moyenne des valeurs
 - On n'a pas d'information pour la concession, mais on en a pour un groupe de concession ou le bassin : on prend cette valeur
 - On a aucune valeur : on prend les valeurs génériques en fonction du statut grisouteux données dans la méthodologie (§ 2.3.2)
- 12) Rapport sur le dégagement spécifique [rapport à embaser - GEODERIS]
- 13) Taux d'ennoyage de la concession à la date de l'inventaire [source : base documentaire de la BDSTM ou rapport embasé chez GEODERIS ou approche complémentaire d'experts cf fin du § 2.3.2.2 du corps du rapport]

8.2.1.3.2 À l'échelle de l'ouvrage

- 1) Dimensions (diamètre pour les puits ou couple {hauteur ; largeur} pour les galeries) [source : colonne de la couche QGIS Ouvrages de la BDSTM]
- 2) État de scellement [source : colonne de la couche QGIS Ouvrages de la BDSTM]

8.2.2 Identification des concessions concernées par l'inventaire

La sélection est effectuée à partir de la BDSTM de GEODERIS en travaillant sur QGIS [couche Site_Miniers]. Elle repose sur 3 étapes de sélection des concessions à partir de leurs caractéristiques :

1. Substance extraite (§ 8.2.2.1)
2. Date de renonciation et date de fin de travaux (§ 8.2.2.2)
3. Matérialisation des ouvrages en travaillant en parallèle sur la BDSTM [couche Ouvrages] (§ 8.2.2.3)

À chaque étape une nouvelle table sera créée à partir de la sélection des concessions concernées par le filtre utilisé (Figure 13).

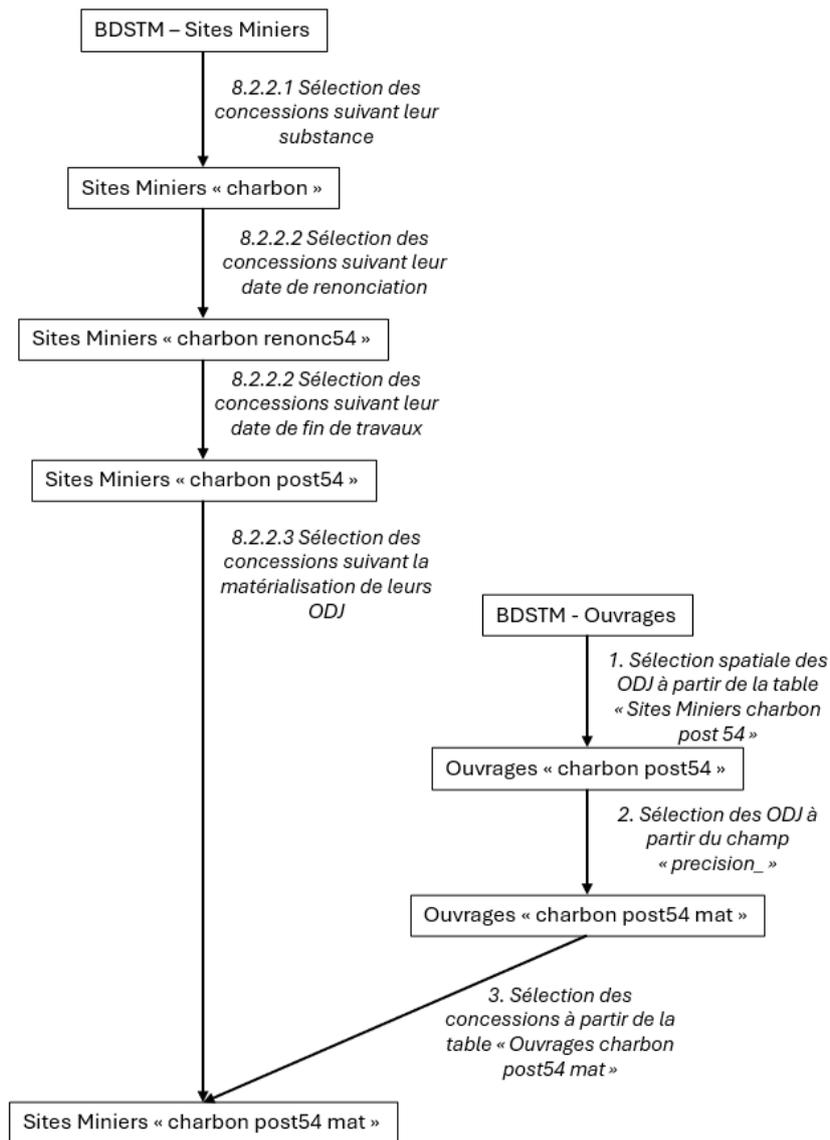


Figure 13 - Logigramme de la création des différentes tables nécessaires à la sélection des concessions concernées par l'inventaire. Les tables à enregistrer correspondent aux encadrés. La table de concessions résultant du processus de sélection des concessions concernées par l'inventaire est Sites Miniers « charbon post54 mat ». La table des ouvrages concernés par l'inventaire est Ouvrages « charbon post54 mat ».

L'étape d'enregistrement d'une nouvelle table se réalise directement en effectuant un clic droit sur la couche en question et en suivant la séquence suivante (Figure 14) :

Exporter > Sauvegarder les entités sélectionnées sous...

Ce processus pourra être à terme automatisé via une commande et un bouton sous Python.

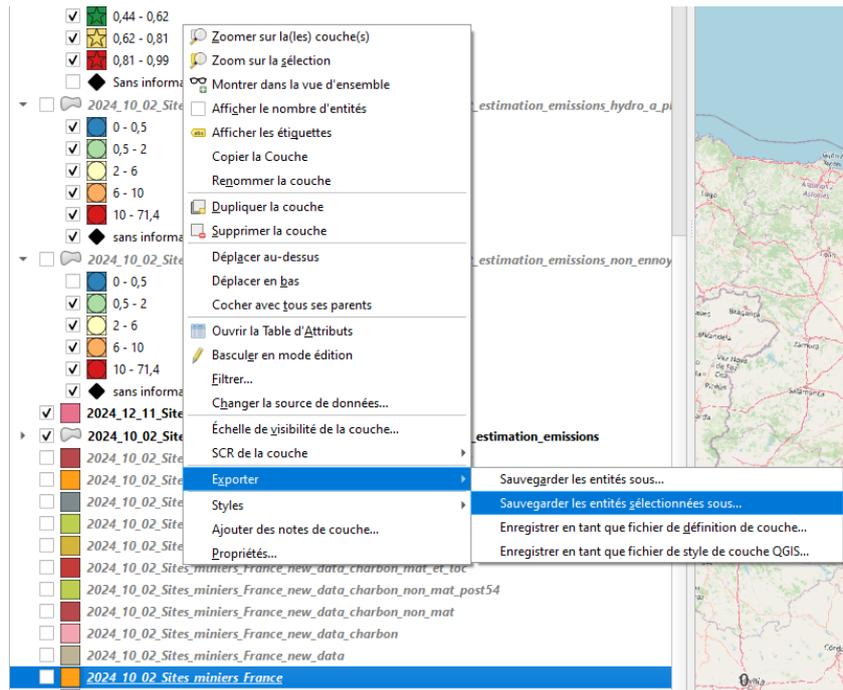


Figure 14 - Principe d'enregistrement d'une nouvelle table sous QGIS à partir d'une sélection d'entités.

8.2.2.1 Sélection des concessions suivant leur substance

Filtre sur les substances

On recherche l'ensemble des substances correspondant à du charbon au sens de la réglementation européenne (EU 2024/1787) : Lignite, charbon sub-bitumineux, charbon bitumineux, anthracite.

Nomenclature européenne	Nomenclature BDSTM
Lignite	Lignite
Charbon sub-bitumineux	Houille
Charbon bitumineux	Houille
Anthracite	Anthracite

Le filtre s'effectue sur les champs de substances « substance_ », « substanc_1 » et « subs_princ » :

Filtre QGIS :

```
("substanc_1" ILIKE '%houille%') OR ("substanc_1" ILIKE '%anthracite%') OR ("substanc_1" ILIKE '%lign%') OR ("subs_princ" ILIKE '%Houille%') OR ("subs_princ" ILIKE '%Lign%') OR ("substance_"=25) OR (("substance_"=8) AND ("substanc_1" IS NOT 'Bitumes')) OR ("substance_"=109) OR ("substance_"=101) OR ("substance_"=29)
```

À l'issue de ce filtre, on enregistre sous la sélection des concessions dans une nouvelle table **Sites Miniers « charbon »**.

Reclassification des substances en 3 catégories à partir d'un nouveau champ « coal_rank »

Dans cette nouvelle table **Sites Miniers « charbon »**, on crée un nouveau champ « coal_rank »

La création de ce champ permettra de calculer les facteurs d'émissions de CH₄ des concessions suivant le type de charbon extrait (IPCC, 2006, 2019; US EPA, 2004a, 2004b)

Filtre QGIS :

```
if(("substanc_1" ILIKE '%lign%' OR ("subs_princ" ILIKE '%Lign%' OR ("substance_"=29),'Lignite',if(("substanc_1" ILIKE '%anthra%' OR ("subs_princ" ILIKE '%Anthra%' OR ("substance_"=101),'Anthracite','Houille'))
```

À l'issue de cette reclassification le champs coal_rank possède 3 valeurs possibles :

- 'Houille'
- 'Anthracite'
- 'Lignite'

8.2.2.2 Sélection des concessions suivant leur date de renonciation / fin de travaux

Dans la table **Sites Miniers « charbon »** issue de la sélection des concessions par substance, on crée deux nouveaux champs :

- « fin_tvx » : qui contiendra la date de fin de travaux
- « Rapp_fintvx » : qui contiendra le nom du rapport avec la date

On filtre dans un premier temps la table suivant la **date de renonciation**.

Filtre sur la date de renonciation :

Filtre QGIS :

```
if(date_perem is NULL,date_perem is NULL,date_perem > to_date('1954-08-03'))
```

À l'issue de ce filtre, on enregistre sous la sélection des concessions dans une nouvelle table **Sites Miniers « charbon renonc54 »**.

On complète ensuite les dates de fin de travaux pour les concessions de cette table et on applique à nouveau un filtre sur la date de fin de travaux.

Filtre sur la date de fin de travaux :

Filtre QGIS :

```
if (fin_tvx is NULL,if(date_perem is NULL,date_perem is NULL,date_perem > to_date('1954-08-03')), fin_tvx > to_date('1954-08-03'))
```

A l'issue de ce filtre, on enregistre sous la sélection des concessions dans une nouvelle table **Sites Miniers « charbon post54 »**

8.2.2.3 Sélection des concessions suivant la matérialisation de leur ODJ

La sélection est effectuée à partir de la BDSTM de GEODERIS en travaillant sur QGIS [couche Ouvrages].

Filtre sur la matérialisation des ODJ

1. On réalise une sélection spatiale entre la BDSTM réduite aux titres « Charbon post 54 » (table **Sites Miniers « charbon post54 »**) et la BDD ouvrages miniers. On enregistre la table des ouvrages résultant de la sélection (**Ouvrages « charbon post54 »**).

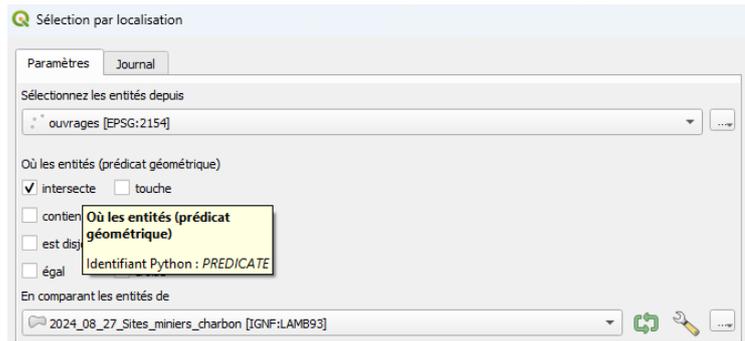


Figure 15 - Principe de sélection spatialisée entre la base des ouvrages et celle des concessions sur QGIS. Veiller à bien cocher la case « intersecte ».

Commande Python :

```
processing.run("native:selectbylocation", {'INPUT':'C:/Users/favier/OneDrive - INERIS/Etudes/Methane/mines/BDD_geoderis_ouvrages/ouvrages.shp','PREDICATE':[0],'INTERSECT':'C:/Users/favier/OneDrive - INERIS/Etudes/Methane/mines/test_inventaire/maj_bdd_2024_08_27/data/2024_08_27_Sites_miniers_charbon.shp','METHOD':0})
```

Nota :

La partie en rouge de la commande Python concerne l'adresse de la BDSTM – ouvrages sur l'ordinateur. La partie bleue quant à elle concerne l'adresse de la table **Sites Miniers « charbon post54 »**

Cette partie sur Python peut être réalisée en suivant simplement l'interface graphique

2. On filtre la table **Ouvrages « charbon post54 »** suivant la matérialisation des ouvrages à l'aide du champ « precision_ ». On obtient ainsi la table **Ouvrages « charbon post54 mat »**.

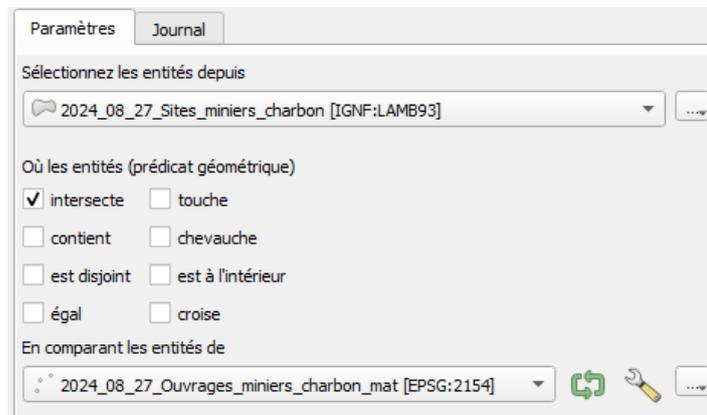
Valeur du champ « precision »	Signification
1	Matérialisé
2	Localisé
3	Non localisé

Filtre QGIS :

precision_=1

3. On réalise une sélection spatiale entre la table **Ouvrages « charbon post54 »** et la table **Sites Miniers « charbon post54 »**

Traitement > Boîte à outils de traitements > Sélection dans un vecteur



Commande Python :

```
processing.run("native:selectbylocation", {'INPUT':'C:/Users/favier/OneDrive - INERIS/Etudes/Methane/mines/test_inventaire/maj_bdd_2024_08_27/data/2024_08_27_Sites_miniers_charbon.shp','PREDICATE':[0],'INTERSECT':'C:/Users/favier/OneDrive - INERIS/Etudes/Methane/mines/test_inventaire/maj_bdd_2024_08_27/data/2024_08_27_Ouvrages_miniers_charbon_mat.shp','METHOD':0})
```

Nota :

La partie en rouge de la commande Python concerne l'adresse de la table **Ouvrages « charbon post54 »** sur l'ordinateur. La partie bleue quant à elle concerne l'adresse de la table **Sites Miniers « charbon post54 »**

Cette partie sur Python peut être réalisée en suivant simplement l'interface graphique.

On enregistre la sélection résultante dans une nouvelle table (**Sites Miniers « charbon post54 mat »**). Cette table correspond à l'ensemble des concessions concernées par l'inventaire.

8.2.3 Estimation des émissions de CH₄ à l'échelle des concessions

On hiérarchise dans un premier temps les concessions suivant l'estimation de leurs émissions de CH₄ afin de quantifier sur le terrain, les ODJ estimés comme émetteurs. Cette étape est largement fondée sur le calcul de champs à partir d'attributs renseignés en amont des étapes de calculs. Nous distinguerons ainsi trois types de données (Figure 16) :

- La **donnée existante** issue de la BDSTM couche [Sites Miniers]
- La **donnée renseignée** issue d'un travail de recherche
- La **donnée calculée** issue de formules la calculant à partir de la donnée renseignée.

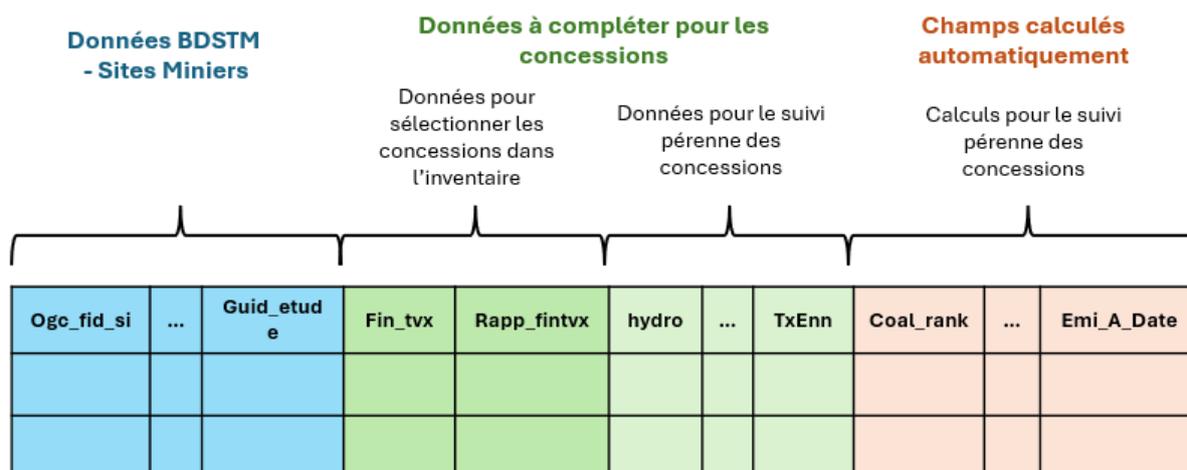


Figure 16 : Structure de la table QGIS des Sites Miniers "charbon post54 mat".

8.2.3.1 Complétion des données requises pour l'estimation des émissions de CH₄

Dans la table QGIS issue de la sélection des concessions concernées par l'inventaire on crée les champs :

- « Hydro » : qui contiendra le statut hydrogéologique du site : Ennoyé, Stabilisé, Ennoyage en cours, NC, NSP
- « Rapp_hydro » : qui contiendra le nom du rapport avec le statut hydrogéologique
- « Date_hydro » qui contiendra la date du rapport hydrogéologique
- « Grisoux » qui contiendra le classement grisouteux de la concession : Nul, Faible, Moyen, Fort
- « Rapp_gaz » qui contiendra le nom du rapport sur le statut grisouteux de la concession
- « Date_gaz » qui contiendra la date du rapport sur le statut grisouteux
- « Prod » qui contiendra la production totale avant fermeture de la mine (production en tonnes)
- « Prod_deb » qui contiendra la date de début de la production renseignée dans le champ « Prod »
- « Prod_fin » qui contiendra la date de fin de la production renseignée dans le champ « Prod ».
- « Rapp_prod » qui contiendra le nom du rapport sur la production
- « Deg_spe » qui contiendra le dégagement spécifique de la concession [m³/tonnes extraites]
- « Rapp_deg » qui contiendra le nom du rapport sur le dégagement spécifique.
- « TxEnn » qui contiendra le taux d'ennoyage de la concession

On remplit ensuite ces champs à l'aide des données à disposition sur AppSig, la BDD de GEODERIS, de l'Ineris et de CdF. Ce sont les **données renseignées**.

8.2.3.2 Calcul des émissions de CH₄

1. Création des champs virtuels :

- a. « AgeFinTvx » : âge depuis la fin des travaux
- b. « ProdAnnMoy » production annuelle moyenne
- c. « FE » : facteur d'émission
- d. « TenCharbon » dégagement spécifique calculé pour l'ensemble des concessions
- e. « Emi_Init » : émissions initiales de CH₄ au moment de la fermeture
- f. « Emi_A_date » : émissions actuelles de CH₄

Ce sont les **données calculées**. Les formules calculant ces champs sont données ci-dessous à titre indicatif. A terme le processus sera entièrement automatisé.

2. Calcul des champs

a. « AgeFinTvx » : Age depuis la fin des travaux [années]

Calcul :

$$AgeFinTvx = Année\ actuelle - Année\ de\ fin\ de\ travaux$$

Expression sur QGIS:

$$year(age(now() , "fin_tvx"))$$

b. « ProdAnnMoy » production annuelle moyenne [tonnes/an]¹⁴

Calcul :

Si la production totale =0 :

$$ProdAnnMoy = 0$$

Sinon,

Si dernière date de production connue = première date de production connue :

$$ProdAnnMoy = Production\ totale$$

Sinon,

ProdAnnMoy

$$= \frac{Production\ totale}{dernière\ date\ de\ production\ connue - première\ date\ de\ production\ connue}$$

Expression sur QGIS :

$$if("Prod"=0,0,if("Prod_fin"= "Prod_deb","Prod","Prod" / ("Prod_fin"- "Prod_deb")))$$

c. « FE » : facteur d'émission [sans unité]

Calcul [actuel majorant – sans taux d'ennoyage] :

Si le statut hydro = vide OU 'Stabilisee' OU 'Ennoyage en cours' OU 'NC' OU 'NSP' :

Si le type de charbon = 'Anthracite' :

$$FE = (1 + 1.72 * AgeFinTvx)^{-0.58}$$

Si le type de charbon = 'Houille' :

$$FE = (1 + 3.72 * AgeFinTvx)^{-0.42}$$

Si le type de charbon = 'Lignite' :

$$FE = (1 + 0.27 * AgeFinTvx)^{-1}$$

Si le statut hydro = 'Ennoyee' :

$$FE = \exp(-0.672 * AgeFinTvx)$$

Expression sur QGIS :

if("Hydro" IS NULL,1,if("Hydro" ='Ennoyage en cours',1,if("Hydro" ='Stabilisee',1,if("Hydro" ='NC',1,if("Hydro"='NSP",1,0)))))*if("coal_rank" ='Anthracite',(1+1.72* "AgeFinTvx")^(-0.58),if("coal_rank" = 'Houille',(1+3.72*"AgeFinTvx")^(-0.42),(1+0.27*"AgeFinTvx")^(-1)))+if("Hydro" IS NULL,0,if("Hydro" ='Ennoyage en cours',0,if("Hydro" ='Stabilisee',0,if("Hydro"='NC',0,if("Hydro"='NSP',0,1)))))*if("coal_rank" ='Anthracite',exp(-0.672*"AgeFinTvx"),if("coal_rank" = 'Houille',exp(-0.672*"AgeFinTvx"),exp(-0.672*"AgeFinTvx")))

Calcul [expert – si taux d’ennoyage connu] :

Si le type de charbon = ‘Anthracite’ :

$$FE = (1 - TxEnn) * (1 + 1.72 * AgeFinTvx)^{-0.58} + TxEnn * \exp(-0.672 * AgeFinTvx)$$

Si le type de charbon = ‘Houille’ :

$$FE = (1 - TxEnn) * (1 + 3.72 * AgeFinTvx)^{-0.42} + TxEnn * \exp(-0.672 * AgeFinTvx)$$

Si le type de charbon = ‘Lignite’ :

$$FE = (1 - TxEnn) * (1 + 0.27 * AgeFinTvx)^{-1} + TxEnn * \exp(-0.672 * AgeFinTvx)$$

Expression sur QGIS :

if("coal_rank" ='Anthracite',(1-TxEnn)*(1+1.72* "AgeFinTvx")^(-0.58)+TxEnn* exp(-0.672*"AgeFinTvx"),if("coal_rank" = 'Houille',(1-TxEnn)*(1+3.72*"AgeFinTvx")^(-0.42)+TxEnn* exp(-0.672*"AgeFinTvx"),(1-TxEnn)*(1+0.27*"AgeFinTvx")^(-1)+TxEnn* exp(-0.672*"AgeFinTvx")))

d. « TenCharbon » dégagement spécifique calculé pour l'ensemble des concessions [m³/tonne extraite]

Calcul :

Si le dégagement spécifique = vide' :

Si le classement grisouteux = 'Faible' :

$$TenCharbon = 5$$

Si le classement grisouteux = 'Moyen' :

$$TenCharbon = 20$$

Si le classement grisouteux = 'Fort' OU vide :

$$TenCharbon = 55$$

Si le classement grisouteux = 'Nul' :

$$TenCharbon = 1$$

Sinon,

$$TenCharbon = \text{dégagement spécifique}$$

Expression sur QGIS :

if("Deg_spe" IS NULL,if("Grisoux" ='Faible',5,if("Grisoux" = 'Moyen',20,if("Grisoux" ='Fort',55,if("Grisoux"='Nul',1,55))), "Deg_spe")

e. « Emi_Init » : émissions initiales de CH₄ au moment de la fermeture [tCH₄/an]

Calcul :

$$Emi_{init} = TenCharbon * ProdAnnMoy * \rho_{CH_4}$$

Avec $\rho_{CH_4} = 0.67 \text{ kg/m}^3$, soit $6.7E-04 \text{ t/m}^3$

Expression sur QGIS :

"TenCharbon" * "ProdAnnMoy" *670e-6

f. « Emi_A_date » : émissions actuelles de CH₄ [tCH₄/an]

Calcul :

$$Emi_{a_{date}} = Emi_{init} * FE$$

Expression sur QGIS :

"Emi_Init" * "FE"

8.2.4 Estimation des émissions de CH₄ à l'échelle de l'ODJ

Tout comme pour l'estimation des émissions de CH₄ à l'échelle de la concession, cette étape est largement fondée sur le calcul de champs à partir d'attributs renseignés en amont des étapes de calculs. Nous distinguerons ainsi quatre types de données (Figure 17) :

- La **donnée existante** issue de la BDSTM couche [ouvrages]
- La **donnée complétée** par le travail sur le terrain
- La **donnée jointe** issue de la jointure avec la table **Sites Miniers « charbon post54 mat »**.
- La **donnée calculée** issue de formules la calculant à partir des données précédentes

Données BDSTM - Ouvrages			Données complétées par le travail de terrain				Données issues de la jointure avec la table Sites Miniers « charbon post54 mat »			Champs calculés automatiquement		
Ogc_fid_o u	...	Guid_etud e	N_haute ur	N_largeu r	N_scelle ment	mesCH4	Ogc_fid_ si	...	Emi_A_Date	D_eq	Sum_de q	EmiODJdat e

Figure 17 : Structure de la table QGIS des Ouvrages "charbon post54 mat".

8.2.4.1 Jointure des attributs de la table des concessions « charbon post54 » avec celle des ouvrages

On réalise une jointure spatiale de la table des concessions « charbon post54 » avec celle des ouvrages afin d'attribuer pour chaque ouvrage matérialisé :

- Sa concession de rattachement - champ « Nom_site »
- L'émission estimée de la concession champ « Emi_A_date »

Commande Python :

```
processing.run("native:joinattributesbylocation", {'INPUT':'C:/Users/favier/OneDrive - INERIS/Etudes/Methane/mines/2024_10_02_BDD_propre/reconciliation_2/2024_10_02_ouvrages_charbon_mat_estimation_emissions_hydro_a_pb_projection.shp|layername=2024_10_02_ouvrages_charbon_mat_estimation_emissions_hydro_a_pb_projection','PREDICATE':[0],'JOIN':'C:/Users/favier/OneDrive - INERIS/Etudes/Methane/mines/2024_10_02_BDD_propre/reconciliation_2/2024_10_02_Sites_miniers_France_new_data_charbon_post54_mat_estimation_emissions.shp','JOIN_FIELDS':['Emi_a_Date','nom_site'],'METHOD':0,'DISCARD_NONMATCHING':False,'PREFIX':'','OUTPUT':'TEMPORARY_OUTPUT'})
```

Nota :

La partie en rouge de la commande Python concerne l'adresse de la table **Ouvrages « charbon post54 mat »** sur l'ordinateur. La partie bleue quant à elle concerne l'adresse de la table **Sites Miniers « charbon post54 mat »**. La partie verte correspond aux noms des champs à joindre.

Cette partie sur Python peut être réalisée en suivant simplement l'interface graphique.

8.2.4.2 Calcul du diamètre équivalent des ouvrages

On crée le champ « d_eq0 » et « d_eq » qui calculent un diamètre équivalent pour chaque ouvrage en fonction de la présence de données sur les dimensions et sur l'état de scellement :

Calcul :

Si le diamètre de la tête²⁹ > 0 :

$$d_{eq0} = \text{diamètre_tete}$$

Sinon, si le diamètre du corps > 0 :

$$d_{eq0} = \text{diamètre_corps}$$

Sinon, si la hauteur de la tête²⁹ > 0 et la largeur de la tête²⁹ > 0 :

$$d_{eq0} = 2 * \sqrt{\frac{\text{hauteur_tete} * \text{largeur_tete}}{\pi}}$$

Sinon,

$$d_{eq0} = 4$$

Expression sur QGIS :

```
if( "diametre_t" >0,"diametre_t",if( "diametre_c" >0, "diametre_c",if( "hauteur_te" >0, if("largeur_te">0, 2*(("hauteur_te"*"largeur_te")/3.14)^0.5,4),4)))
```

²⁹ Le terme « tête » correspond au terme employé dans la BDSTM, couche [ouvrages]. Il correspond à la partie faisant l'interface entre le jour et le reste de l'ouvrage. Ainsi, dans le cas d'une galerie, les termes « hauteur de la tête » et « largeur de la tête » sont à interpréter comme la hauteur et la largeur de la galerie à l'endroit où celle-ci débouche au jour.

À partir de « d_eq0 », on calcule « d_eq » :

Code QGIS	Etat de la tête ²⁹ de l'ouvrage
4	Murée
7	Dallée
9	Bouchée
12	Remblayée

Calcul :

Si l'état de la tête = 4 OU 7 OU 9 OU 12 :

$$d_{eq} = 0.1 * d_{eq0}$$

Sinon :

$$d_{eq} = d_{eq0}$$

Expression sur QGIS :

if("etat_tete" = 4 OR "etat_tete" = 7 OR "etat_tete" = 9 OR "etat_tete" = 12, 0.1*"d_eq0", "d_eq0")

8.2.4.3 Calcul de la somme des diamètres équivalents pour chaque concession

Créer le champ « sum_deq » pour stocker la somme des diamètres équivalents pour chaque concession.

Sélectionner la couche des ouvrages, puis lancer le script Python suivant :

The screenshot shows the QGIS interface with a map of France containing several points. The layer list on the left includes various layers, with '2024.10.02.ouvrages_charl' selected. The Python console at the bottom right contains the following script:

```

1 layer = iface.activeLayer()
2 layer.selectAll()
3 selected_feature = layer.selectedFeatures()
4 layer.startEditing()
5 list_concessions=[f['nom_site'] for f in selected_feature]
6 liste=list_concessions
7 #print(list_concessions)
8 #layer.removeSelection()
9 print(liste)
10 for nomsite in liste:
11     chaine2='nom_site-ILIKE-\'%'+nomsite+'%'
12     print(chaine2)
13     layer.selectByExpression(chaine2)
14     sel_feature = layer.selectedFeatures()
15     sum_deq = 0
16     for feature in sel_feature:
17         sum_deq += feature['d_eq2']
18
19     for feature in sel_feature:
20         feature["sum_deq2"] = sum_deq
21         layer.updateFeature(feature)
22 layer.commitChanges()

```

Script Python :

```
layer = iface.activeLayer()
layer.selectAll()
selected_feature = layer.selectedFeatures()
layer.startEditing()
list_concessions={f["id_site"] for f in selected_feature}
liste=list_concessions
#print(list_concessions)
#layer.removeSelection()
print(liste)
for nomsite in liste:
    chaine2='id_site ILIKE \''+nomsite+'%'
    print(chaine2)
    layer.selectByExpression(chaine2)
    sel_feature = layer.selectedFeatures()
    sum_deq_=0
    for feature in sel_feature:
        sum_deq_+=feature['d_eq']
    for feature in sel_feature:
        feature["sum_deq"]=sum_deq_
        layer.updateFeature(feature)
layer.commitChanges()
```

8.2.4.4 Calcul des émissions de CH₄ à l'échelle de l'ODJ à partir des émissions à l'échelle de la concession

Créer le champ « EmiODJdate ». Ce champ valorisera lorsqu'elle est disponible la mesure du flux de méthane de terrain [tCH₄/an].

Calcul :

Si mesCH4 est NULL :

$$EmiODJdate = Emi_{a_{date}} * d_{eq} / sum_{deq}$$

Sinon :

$$EmiODJdate = mesCH4$$

Expression sur QGIS :

"Emi_a_Date" * "d_eq" / "sum_deq"

8.2.5 Sélection des concessions concernées par le suivi des émissions de CH₄

À partir de l'estimation des émissions de CH₄ à l'échelle de la concession, ne conserver que les concessions ayant une émission > 0.5 tCH₄ /an. Ces concessions devront faire l'objet d'une vérification prioritaire sur le terrain. Cette vérification a pour objet de :

- Estimer précisément le nombre d'ODJ / SDEC effectivement matérialisés
- Documenter les caractéristiques de ces ouvrages :
 - Dimensions
 - Etat de scellement
- Mesurer sur ces ouvrages le flux de méthane

Afin de hiérarchiser cette vérification sur le terrain, privilégier en priorité les concessions émettrices qui possèdent des ouvrages dont l'estimation des émissions de CH₄, pour un ou plusieurs d'entre eux, montre un flux > 0.5 tCH₄ /an.

8.2.6 Complétion du tableau d'inventaire à rendre à l'Europe

Au-delà des champs en lien direct avec l'application du règlement EU 2024/1787, dans le cadre de l'application de la méthodologie au territoire national, il pourra s'avérer utile de réfléchir à l'ajout d'un identifiant unique des ouvrages qui constitueraient ainsi à terme une clé d'entrée cohérente avec ce système d'archivage des informations déjà en place en France.

Partie 1 Annexe VIII				Art 25			Partie 1 Annexe VIII					Partie 1 Annexe VIII + partie 2							
1.1 + partie 2	1.1 + partie 2	1.2 + partie 2	1.3	1.4	art 25 §1	art 25 §4	art 25 §4	1.5.a,b,c,d + partie 2	1.5.a.ii	1.5.a.ii	1.5.a.i	1.5.a.i	1.5.a.iii	1.5	2.3				
Concession								Ouvrage					mesures CH4 pour inventaire (t/an)				Sources		
Nom	Exploitant	Adresse	Carte mine	Plan ouvrages	Date expiration / arrêt des travaux	Date dernier statut ennoyage / date fin ennoyage	ennoyage (complet, en cours, partiel)	type ouvrage ODJ	Identifiant ouvrage ODJ	nom ouvrage ODJ	Longitude	Latitude	Etat de scellement + méthode scellement si connu	quantificati on CH4 pour inventaire (t/an)	date mesure	pression atmosphéri que (hPa)	carac technique de l'équipeme nt	valeur mesure (t/an)	
			Lien vers la zone dépôt du document	Lien vers la zone dépôt du document										<i>À ne considérer que si pas de mesure</i>	<i>Si dispo fera foi</i>				<i>Lien vers la zone dépôt des documents de référence (DADT, Rapports, etc...)</i>
Decazeville-Firmi	CdF	Decazeville, France	id=%2Fsites%2FGB	id=%2Fsites%2FGB	1960	2006	partiel	puits	12OUV067	Puits de la Richardie	2.2945594	44.517331	NSP	0.19	05/05/2025	990	Inspectra (min = 2 ppm) + kesrel (min = 0.5 m/s)	0.05	Fiche "AppSIG" avec les liens pour les différents documents
Decazeville-Firmi	CdF	Decazeville, France	id=%2Fsites%2FGB	id=%2Fsites%2FGB	1960	2006	partiel	galerie	12OUV1754	Galerie de Fonvernhes	2.3045594	44.519331	NSP	0.38	05/05/2025	987	Inspectra (min = 2 ppm) + kesrel (min = 0.5 m/s)	0.2	Fiche "AppSIG" avec les liens pour les différents documents
Decazeville-Firmi	CdF	Decazeville, France	id=%2Fsites%2FGB	id=%2Fsites%2FGB	1960	2006	partiel	SDEC	12OUV1841	La Treille haute nouveau	2.2752665	44.527922	NSP	0.52	05/05/2025	995	Inspectra (min = 2 ppm) + kesrel (min = 0.5 m/s)	0.48	Fiche "AppSIG" avec les liens pour les différents documents

8.3 Annexe 3 : Méthodologie de l'estimation des émissions de CH₄ pour les concessions en cours d'ennoyage ou stabilisées

1. A partir de l'estimation des émissions de CH₄ à l'échelle de la concession, sélectionner les concessions en cours d'ennoyage ou stabilisées qui ont une émission supérieure à 0.5 tCH₄/an
2. Pour ces concessions, créer et calculer les champs suivants :

a. « FEseuil » : facteur d'émission limite pour atteindre les 0.5 tCH₄/an

Calcul :

$$FE_{seuil} = \frac{0.5}{Emi_{init}}$$

Expression sur QGIS :

$$0.5/"Emi_Init"$$

b. « TauxEnnLim » : taux d'ennoyage limite pour atteindre les 0.5 tCH₄/an

Calcul :

Si le type de charbon = 'Anthracite' :

$$TauxEnnLim = \frac{FE_{seuil} - (1 + 1.72 * AgeFinTvx)^{-0.58}}{\exp(-0.672 * AgeFinTvx) - (1 + 1.72 * AgeFinTvx)^{-0.58}}$$

Si le type de charbon = 'Houille' :

$$TauxEnnLim = \frac{FE_{seuil} - (1 + 3.72 * AgeFinTvx)^{-0.42}}{\exp(-0.672 * AgeFinTvx) - (1 + 3.72 * AgeFinTvx)^{-0.42}}$$

Si le type de charbon = 'Lignite' :

$$TauxEnnLim = \frac{FE_{seuil} - (1 + 0.27 * AgeFinTvx)^{-1}}{\exp(-0.672 * AgeFinTvx) - (1 + 0.27 * AgeFinTvx)^{-1}}$$

Expression sur QGIS :

$$("FE_{seuil}" - \text{if}(\text{"coal_rank"} = \text{'Anthracite'}, (1 + 1.72 * \text{"AgeFinTvx"})^{-0.58}, \text{if}(\text{"coal_rank"} = \text{'Houille'}, (1 + 3.72 * \text{"AgeFinTvx"})^{-0.42}, (1 + 0.27 * \text{"AgeFinTvx"})^{-1}))) / (\text{if}(\text{"coal_rank"} = \text{'Anthracite'}, \exp(-0.672 * \text{"AgeFinTvx"}), \text{if}(\text{"coal_rank"} = \text{'Houille'}, \exp(-0.672 * \text{"AgeFinTvx"}), \exp(-0.672 * \text{"AgeFinTvx"}))) - \text{if}(\text{"coal_rank"} = \text{'Anthracite'}, (1 + 1.72 * \text{"AgeFinTvx"})^{-0.58}, \text{if}(\text{"coal_rank"} = \text{'Houille'}, (1 + 3.72 * \text{"AgeFinTvx"})^{-0.42}, (1 + 0.27 * \text{"AgeFinTvx"})^{-1})))$$

3. Comparer le taux d'ennoyage limite avec le taux d'ennoyage actuel.

Si le taux actuel > taux limite, la concession émet moins de 0.5tCH₄/an.

