

Direction générale de la
prévention des risques

Service des risques
technologiques

Bureau du sol et du
sous-sol

Octobre 2019

Guide méthodologique relatif au Plan de Conception des Travaux (PCT)



MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET SOLIDAIRE

Ministère de la Transition écologique et solidaire

www.ecologique-solidaire.gouv.fr

Rédacteurs

Antoine BILLARD – MTES/DGPR/Bureau du sol et du sous-sol

Christian VINCQ – MTES/DGPR/Bureau du sol et du sous-sol

Philippe BEGASSAT – ADEME

Aurélie DROISSART-LONG – INERIS

Noémie DUBRAC - Hubert LEPROND – BRGM/Unité 3SP

Préambule

La mise à jour de la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués, publiée le 19 avril 2017, a introduit un nouvel outil dénommé plan de conception des travaux (PCT). Afin de préciser le périmètre et le contenu du plan de conception des travaux mais aussi son articulation avec les autres outils de la méthodologie, l'élaboration du présent guide méthodologique s'est avérée nécessaire.

L'objectif est de permettre de mieux appréhender les différents principes définis dans la note d'accompagnement de la mise à jour des textes méthodologiques, en particulier, le rôle central donné à l'analyse de faisabilité technique. Après un bref rappel méthodologique et normatif, ce document précise le contenu technique du plan de conception des travaux, clarifie son positionnement par rapport au plan de gestion et apporte un éclairage sur les modalités de commande ainsi que sur le rôle et les responsabilités de chacun des acteurs dans sa déclinaison.

Le présent guide relatif au plan de conception des travaux a été élaboré en concertation avec un groupe de travail composé de :

- MTES : Direction Générale de la Prévention des Risques - Bureau du sol et du sous-sol ;
- ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie ;
- BRGM : Bureau de Recherches Géologique et Minières ;
- INERIS : Institut National de l'Environnement industriel et des RISques.

SOMMAIRE

1 - INTRODUCTION	7
2 - RAPPEL METHODOLOGIQUE ET NORMATIF	9
3 - LES DIFFERENTES ETAPES DE MISE EN ŒUVRE	12
3.1 - Objectifs	12
3.2 - Le plan de conception des travaux : étape charnière entre études et travaux	13
3.2.1 - Les études dont le plan de gestion	13
3.2.2 - Le plan de conception des travaux dans l'ingénierie de dépollution	13
3.2.3 - Les travaux de réhabilitation	14
3.3 - Les différentes situations rencontrées	15
3.3.1 - Cas où la solution est connue dès l'initiation du plan de gestion	15
3.3.2 - Cas où les solutions ne sont pas connues dès l'initiation du plan de gestion	16
3.4 - Les principaux éléments de contenu	17
3.4.1 - Contenu technique	17
3.4.2 - Evaluation des risques sanitaires	22
3.4.3 - Délais de réalisation d'un plan de conception des travaux	23
3.4.4 - Éléments de coûts	24
3.5 - La phase de commande d'un plan de conception des travaux	25
3.5.1 - Le contenu du cahier des charges pour un PCT	25
3.5.2 - Les réponses des prestataires	28
3.5.3 - Période choisie dans le planning global de gestion d'un site pour mener la consultation sur le PCT	29
3.5.4 - Consultation simultanée pour le plan de gestion et le plan de conception des travaux	29
3.5.5 - Consultation en tant qu'étape spécifique entre le plan de gestion et les travaux (commande spécifique d'un plan de conception des travaux)	29
3.5.6 - Consultation simultanée PCT et réalisation des travaux	30
3.5.7 - Cas où le PCT remet en question les conclusions du PG	30
3.5.8 - Synthèse des avantages et inconvénients propres à la portée de la consultation	31
3.6 - Les procédures de consultation envisageables	32
3.6.1 - Cas des donneurs d'ordre privés	32
3.6.2 - Cas des donneurs d'ordre publics	32
3.6.3 - Consultation dédiée à la commande d'un PCT	32
3.6.4 - Consultations simultanées PG/PCT ou PCT/Travaux	33
4 - ROLES ET RESPONSABILITE DES ACTEURS	34
4.1.1 - Responsabilités du prestataire réalisant un PCT	34
4.1.2 - Partage des responsabilités entre prestataires	34

4.1.3 - Responsabilités du donneur d'ordre	35
4.1.4 - Conflits d'intérêts	35
4.2 - Compétences nécessaires	35
4.3 - Le positionnement de l'administration vis-à-vis du plan de conception des travaux	36
5 - CONCLUSION	38

Liste des figures

Figure 1 : Articulation du processus de gestion d'un site pollué avec la mise en œuvre d'essais de faisabilité et la gestion du risque projet.....	7
Figure 2 : Logigramme relatif à la position du plan de conception des travaux par rapport au plan de gestion et à l'ensemble du processus de gestion (y compris dimensionnement et travaux)	11
Figure 3 : Logigramme sur l'intégration des éléments de contenu d'un plan de conception des travaux (exemple au stade du plan de gestion).....	20

Liste des tableaux

Tableau 1 : Proposition de liste des principaux postes constitutifs d'un bordereau de prix pour élaborer un plan de conception des travaux (liste non exhaustive)	27
Tableau 2 : Synthèse des principaux avantages et inconvénients selon la portée de la consultation	31

Liste des signes et abréviations

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
AMO	Assistance à Maîtrise d'Ouvrage
AP	Arrêté Préfectoral
ARR	Analyse des Risques Résiduels
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
Cis-DCE	Cis-1.2 dichloréthylène
CMP	Code des Marchés Publics
COHV	Composés OrganoHalogénés Volatils
COT	Carbone Organique Total
DCE	Dossier de Consultation des Entreprises
DICT	Déclaration d'Intention de Commencement de Travaux
DSO	Demande du Sol en Oxydant
EQRS	Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires
GC	Chromatographe en phase gazeuse
ICPE	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
IEM	Interprétation de l'État des Milieux
INERIS	Institut National de l'Environnement industriel et des RISques
Moe	Maître d'Œuvre
MTES	Ministère de la Transition Écologique et Solidaire
PCE	Tétrachloréthylène
PCT	Plan de Conception des Travaux
PG	Plan de Gestion
PGCSPS	Plan Général de Coordination de Sécurité et de Protection de la Santé
SSP	Sites et Sols Pollués
TCE	Trichloréthylène

1 - Introduction

La méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués mise à jour le 19 avril 2017 renforce les principes de gestion en vigueur en France ainsi que les deux outils existants : l'Interprétation de l'État des Milieux (IEM) et le Plan de Gestion (PG).

Au cours des 10 années d'application de la méthodologie de 2007, il a été observé que la définition de solutions de gestion était trop souvent théorique et ne prenait pas suffisamment en compte le contexte des sites. Ce constat nécessitait de compléter la méthodologie nationale en réaffirmant la place de l'ingénierie de dépollution, qui permet de mieux sécuriser les choix techniques et la réalisation des travaux. L'introduction d'un nouvel outil dans la version actualisée de la méthodologie en 2017, dénommé plan de conception des travaux vise notamment à répondre à cet objectif. A noter que le plan de conception des travaux, comme la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués d'avril 2017, est applicable indépendamment pour des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) et en dehors de ce contexte.

Cette phase de conception est généralement essentielle pour valider certains scénarios de gestion afin de les rendre plus pertinents et ainsi réaliser les travaux avec les meilleures chances de succès, en tout cas, en réduisant autant que possible les incertitudes et aléas (cf. Figure 1). Cela sous-entend que le plan de gestion doit être en cohérence avec la version la plus récente du projet afin de vérifier que les évolutions du projet ne remettent pas en cause les scénarios de gestion envisagés. Le plan de conception des travaux comprend la réalisation d'essais, en laboratoire et/ou sur le terrain, et les études d'avant-projet. Il est donc une passerelle entre les études et les travaux et nécessite l'implication d'acteurs maîtrisant ces deux domaines afin d'apporter toute la valeur ajoutée et le lien nécessaire à la réussite des travaux. Ces différents principes sont exposés dans la figure suivante.

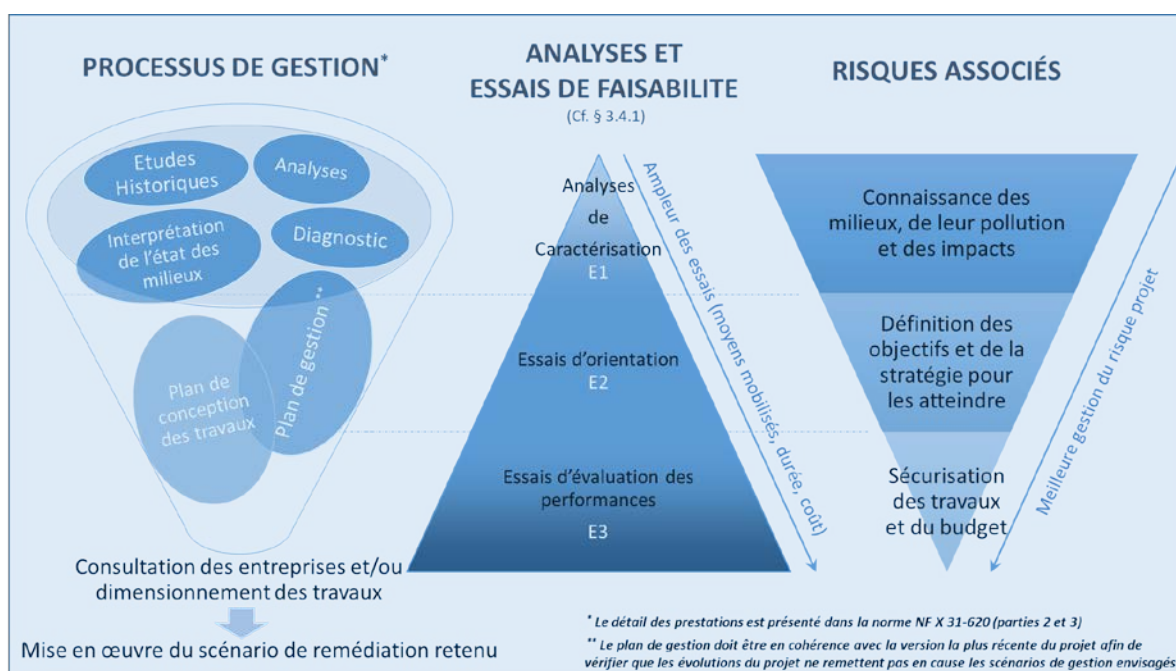


Figure 1 : Articulation du processus de gestion d'un site pollué avec la mise en œuvre d'essais de faisabilité et la gestion du risque projet.

Le présent guide méthodologique vise donc à apporter les éléments de compréhension sur le périmètre et le contenu du plan de conception des travaux. Il précise son articulation avec la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués d'avril 2017 et la norme NF X 31-620 (version de décembre 2018). Il s'adresse à l'ensemble des acteurs du domaine des Sites et Sols Pollués (SSP) : donneurs d'ordres, bureaux d'études, bureaux d'ingénierie, laboratoires, entreprises de travaux et administration.

2 - Rappel méthodologique et normatif

La méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués introduit les principes du plan de conception des travaux (chapitre 5 : L'ingénierie de dépollution : conception et suivi de réalisation des travaux) :

- validation des scénarios de gestion ;
- réalisation par différents acteurs suivant le contexte : entreprises de travaux, bureaux d'études spécialisés, maître d'œuvre, ... ;
- élaboration plus ou moins complexe, susceptible d'être mise en œuvre à différents moments du processus de gestion selon les cas de figure (dans ou a posteriori du plan de gestion).

Le plan de conception des travaux permet d'affiner le choix d'une ou plusieurs solutions parmi celles proposées ou étudiées dans le cadre du bilan « coûts - avantages » constitutif du plan de gestion. Le plan de gestion doit donc être en cohérence avec la version la plus récente du projet afin de vérifier que les évolutions du projet ne remettent pas en cause les scénarios de gestion envisagés.

Cet outil a été repris dans la norme NF X 31-620, partie 3 qui est adossée à la méthodologie. Dans cette partie de la norme, la prestation globale « PCT » a ainsi été créée. Cette prestation contient obligatoirement les prestations suivantes : essais en laboratoire (B111) et/ou sur le terrain (B112) ainsi qu'une étude d'avant-projet (B120). En cas d'absence d'un de ces éléments, l'étude réalisée n'est pas considérée comme un plan de conception des travaux.

À partir du moment où la prestation PCT est engagée, des essais en laboratoire et/ou sur le terrain sont donc nécessaires.

Dans certains contextes, la méthodologie nationale laisse également la possibilité aux acteurs du domaine d'élaborer une étude d'avant-projet seule (prestation B120). Dans ce cas, cette étude seule ne peut pas être considérée comme un plan de conception des travaux.

À titre d'exemple, un projet de création de différents niveaux de sous-sols qui permettrait de gérer la totalité d'une pollution concentrée dans la zone non saturée entraîne nécessairement une solution d'évacuation des terres. Ce projet consiste en une problématique de gestion de déblais, d'identification de filières de gestion de ces déblais hors site et ne nécessite pas la réalisation d'un plan de conception des travaux. L'étude d'avant-projet consiste alors à étudier différentes solutions de confortement géotechnique, d'organisation du chantier et à intégrer les aspects relatifs à la gestion de la pollution (quelle va être la pollution résiduelle ? comment assurer le prélèvement d'échantillons de contrôle ?, quels sont les risques d'exposition pour les travailleurs et le voisinage ?, etc.).

Néanmoins, ce concept théorique n'est pas toujours valable. En effet, même pour de l'excavation, une étude de faisabilité visant à mieux apprécier les quantités de terres à gérer (valorisation, traitement, stockage, etc.) est recommandée pour encore mieux optimiser les coûts (par exemple, un criblage des terres sur site est-il possible et pertinent ?).

La méthodologie nationale précise enfin que le plan de conception des travaux fournit les éléments techniques nécessaires à la rédaction du cahier des charges pour la consultation des entreprises de travaux. Dans sa forme, **le plan de conception des travaux ne constitue donc pas un cahier des charges en tant que tel mais délivre les éléments techniques nécessaires à la constitution du cahier des charges** et, plus largement, du dossier de consultation des entreprises de travaux.



Rappel des principaux éléments de contenu d'un cahier des charges :

Un cahier des charges contient, notamment les éléments techniques de pré-dimensionnement issus du PCT ainsi que des prescriptions spécifiques liées aux exigences des donneurs d'ordre en lien avec la réalisation du chantier : par exemple, les règles de sécurité, les contrôles ou la réception des travaux,

Comme l'ensemble du processus de gestion des sites et sols pollués (cf. Figure 2), le plan de conception des travaux peut être amené à évoluer selon les données acquises ou si des modifications d'aménagement sont envisagées mais ce, avant la réalisation effective du dimensionnement et la réalisation des travaux. **Dans tous les cas, le plan de conception des travaux doit être en cohérence avec la dernière version du projet de réhabilitation.**

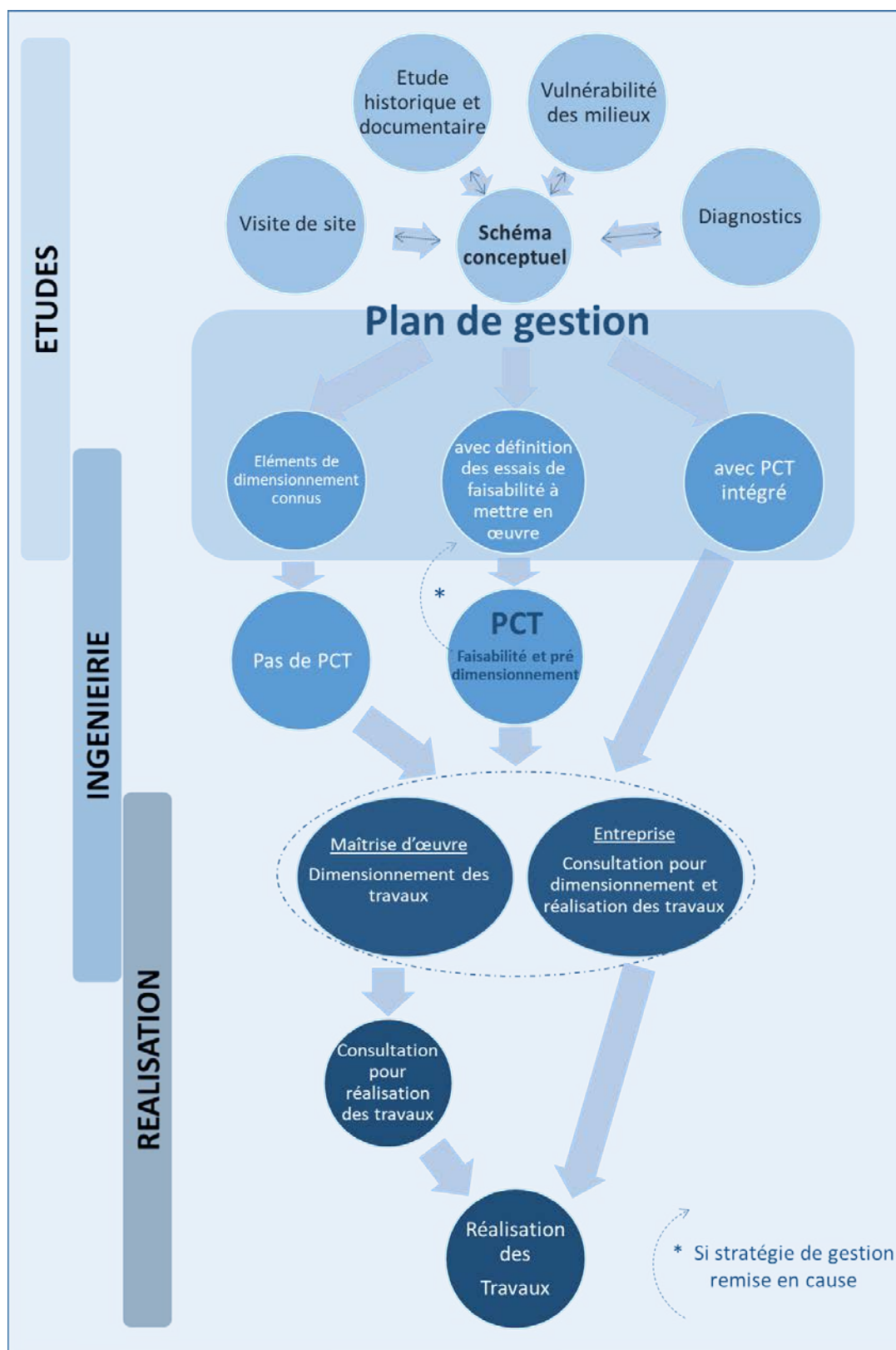


Figure 2 : Logigramme relatif à la position du plan de conception des travaux par rapport au plan de gestion et à l'ensemble du processus de gestion (y compris dimensionnement et travaux).

3 - Les différentes étapes de mise en œuvre

3.1 - Objectifs

En 2007, la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués avait institué le plan de gestion dont le but était d'identifier les scénarios de gestion possibles. Néanmoins, il est arrivé que les travaux soient engagés alors que :

- les données de base (géologie, hydrogéologie, etc.) étaient insuffisantes ;
- le choix de la technique proposée n'était pas conforté par des essais ;
- le contexte du site (accessibilité, place disponible, etc.) n'était pas pris en considération ;
- l'étendue et les caractéristiques des pollutions à traiter n'étaient pas bien circonscrites/connues ;
- les éléments connexes (nuisances, rejets, etc.) n'étaient pas intégrés.

Pour ces raisons, la technique de dépollution mise en œuvre pouvait ne pas être efficace ou, même si elle l'était, l'ampleur des travaux pouvait dépasser les estimations et par conséquent entraîner une dérive des coûts. Par exemple, engager des travaux de paroi moulée en pleine ville alors que la plupart des réseaux sont enterrés, du pompage-écrémage d'hydrocarbures huileux dans des alluvions dont le coefficient de perméabilité est de l'ordre de 10^{-5} à 10^{-6} m/s ne constituent pas des solutions techniques pertinentes dans ce type de contextes.

Les contraintes budgétaires et/ou temporelles conduisent parfois à un passage direct aux travaux après les études environnementales. Cette pratique montre aujourd'hui ses limites. La révision de la méthodologie nationale en 2017 a donc introduit le plan de conception des travaux. Cet outil a pour but de faire la transition entre études et travaux de façon à sécuriser ces derniers tant techniquement que financièrement.

Le plan de conception des travaux permet de :

- vérifier la faisabilité ;
- réaliser le pré-dimensionnement des scénarios de gestion ;
- et plus généralement, valider la pertinence de la stratégie proposée dans le plan de gestion.

Cette faisabilité passe par des essais et études spécifiques qui viendront alimenter le dossier de consultation pour les travaux. L'objectif du plan de conception des travaux est donc de valider le choix de la technique de dépollution qui permet, entre autres, d'atteindre les objectifs de réhabilitation. Le dimensionnement de l'installation relève quant à lui d'une étape ultérieure laissée à l'initiative d'un maître d'œuvre ou d'une entreprise de travaux suivant le contexte du projet.

À ce titre, le plan de conception des travaux fait partie intégrante de la phase de conception d'un projet de réhabilitation et requiert des compétences et un savoir-faire en matière d'ingénierie de dépollution et de travaux dans un sens très large puisque le plan de conception des travaux doit vérifier tous les aspects opérationnels de la mise en chantier qui concourent à la faisabilité d'un scénario de gestion.

3.2 - Le plan de conception des travaux : étape charnière entre études et travaux

Le plan de conception des travaux qui est partie intégrante de l'ingénierie de la dépollution se situe à la frontière des domaines d'activités et de compétences des études et des travaux. Si les paragraphes suivants relèvent les spécificités de chacun des domaines, l'objectif n'est pas d'opposer ces compétences mais plutôt de les associer et ainsi démontrer qu'elles ont tout intérêt à travailler ensemble pour mieux appréhender un contexte dans sa globalité et donc définir les meilleurs scénarios de gestion associés.

3.2.1 - Les études dont le plan de gestion

Les études requièrent des compétences multiples et notamment dans les domaines de la géologie, la chimie, l'hydrogéologie, la physico-chimie des polluants, la géotechnique, la construction, la géostatistique, l'évaluation de risques sanitaires et environnementaux, etc.

Les études relèvent du domaine du comportement des polluants, de la compréhension des phénomènes de transfert, d'exposition et des risques. Elles peuvent également requérir d'autres compétences, par exemple, sur le domaine de l'environnement et sur la réglementation associée (études d'impact, ICPE, loi sur l'eau, etc.).

Le plan de gestion conclut les études en identifiant les scénarios de gestion en fonction des techniques de dépollution pouvant être mises en œuvre pour supprimer les sources de pollutions et les pollutions concentrées, pour améliorer la qualité des milieux et pour atteindre les niveaux de concentration / teneur des polluants des milieux d'exposition qui rendront le site compatible avec l'(les)usage(s) existant(s) ou futur(s). Il intègre ou prescrit en complément les essais de faisabilité à réaliser qui permettront de vérifier la pertinence des scénarios proposés et définir les données d'entrée du dimensionnement des travaux. À ce titre, le plan de gestion nécessite déjà des compétences en ingénierie de travaux sur des aspects propres à la dépollution et aux procédés de traitement.

3.2.2 - Le plan de conception des travaux dans l'ingénierie de dépollution

Le plan de conception des travaux est situé entre les études et les travaux. Sur la base des différents scénarios de gestion étudiés, il doit permettre la vérification de leur faisabilité avant de s'engager dans la mise en œuvre de l'un d'eux. Le plan de conception des travaux préfigure ainsi la rédaction du cahier des charges et/ou le dimensionnement des travaux qui seront réalisés.

Outre les compétences spécifiques à la conception des solutions de dépollution (configuration des ouvrages de dépollution et maillage, gestion des effluents gazeux et liquides, ...), la réalisation du plan de conception des travaux requiert aussi d'autres compétences techniques (calculs géotechniques, hydrauliques, etc.) et des compétences générales d'organisation et de gestion d'un chantier.

En effet, comme précisé au § 3.4 de nombreux aspects seront à prendre en compte pour apprécier, le plus justement possible, et dès le stade de l'ingénierie de dépollution, les conditions de réalisation d'un chantier ; citons par exemple :

- les distances pour l'approvisionnement du chantier en consommables, pour l'élimination de déchets, (coûts de transport et de traitement) ;
- les capacités disponibles pour les utilités ;
- le contexte (résidentiel ou industriel pouvant générer des contraintes sur les horaires de travail et donc la durée globale des travaux, les relations avec des riverains au regard des nuisances associées aux travaux, ...) ;
- les travaux préparatoires de déboisement, de confortements géotechniques, de soutènements de bâtis ;
- le recours à une maîtrise d'œuvre, à des bureaux de contrôle extérieurs ;
- les aménagements de gestion des eaux météoriques sur le chantier et leur contrôle avant rejet, la surveillance environnementale ;
- la gestion de l'hygiène, de la sécurité et des nuisances pour les opérateurs et le voisinage ;
- etc.

La faisabilité concerne ainsi à la fois des notions de faisabilité technique propre aux aspects de dépollution, de mise en place de mesures constructives mais aussi des aspects de faisabilité générale d'un projet, par exemple, en lien avec les contraintes d'un donneur d'ordre : délais, budget, image de marque, etc.

Dans tous les cas, il apparaît bien que les compétences indispensables à la réalisation d'un plan de conception des travaux relèvent de l'ingénierie de travaux. **Ces compétences peuvent être disponibles tout aussi bien dans les bureaux d'études que dans les entreprises de travaux, pourvu que les personnels impliqués dans l'élaboration du plan de conception des travaux disposent d'une bonne expérience des techniques de dépollution et de leur mise en œuvre** (sécurité, organisation, phasage et durée, application technique, etc.).

Les compétences propres de bureaux d'études peuvent également s'avérer nécessaires lorsque le plan de conception des travaux remet en cause les conclusions d'un plan de gestion et que ce dernier doit être retravaillé. C'est par exemple le cas lorsque les scénarios de gestion envisagés s'avèrent non pertinents ou moins efficaces que prévus à l'issue des essais de faisabilité. Il y a alors lieu de revoir la stratégie de gestion, notamment en étudiant d'autres techniques de dépollution et en reprenant l'évaluation des risques sanitaires permettant de valider la nouvelle approche.

3.2.3 - Les travaux de réhabilitation

En fonction des objectifs définis, les travaux consistent en premier lieu, à supprimer les sources de pollution et les pollutions concentrées, et en second lieu à supprimer les voies de transfert des polluants, etc. En résumé, ils constituent la mise en œuvre pratique de solutions permettant d'assurer la gestion des risques sanitaires et environnementaux en vue de restaurer ou assurer les compatibilités d'usage. Ils sont constitués d'une phase de dimensionnement d'une solution dans un contexte donné et d'une phase d'exécution.

Au-delà de la gestion d'aspects communs avec les études (par exemple, préparation et déroulement d'un chantier avec un degré complémentaire en termes de moyens mobilisés, de durée, de montants mis en jeu et de gestion de la co-activité...), la phase de travaux fait appel à des compétences de gestion de chantier, de dimensionnement et de pilotage d'installations de traitement, de géotechnique, voire de génie civil, etc.

3.3 - Les différentes situations rencontrées

Au moins deux cas de figure peuvent être rencontrés dans la mise en œuvre d'un PCT :

1. la ou les solutions de gestion sont connues dès l'initiation du plan de gestion ;
2. il n'y a aucune connaissance des solutions envisageables au démarrage du plan de gestion.

3.3.1 - Cas où la solution est connue dès l'initiation du plan de gestion

Dans certains cas, la ou les solutions de gestion sont connues dès les phases de diagnostic ou en raison des caractéristiques d'un projet.

Deux situations peuvent alors se présenter :

- les éléments de dimensionnement de la solution envisagée sont connus (travaux d'excavation sur plusieurs niveaux de sous-sols par exemple). Dans ce cas, le plan de conception des travaux n'est pas nécessaire. Ce cas de figure n'est toutefois pas usuel. La plupart des contextes nécessitent l'étude et la comparaison de différentes solutions techniques pour aboutir à la maîtrise d'une source de pollution et de ses impacts. Les études de faisabilité avec les essais associés ont ainsi toute leur place préalablement à un dimensionnement ultérieur des installations ;
- la ou les solutions sont évidentes mais nécessitent de réaliser des essais de faisabilité. Par exemple, les diagnostics d'une station-service ont mis en évidence une pollution des sols par de l'essence :
 - o les sols impactés sont des sables et une grande partie de l'emprise de la station-service est recouverte par un revêtement (dalle béton ou bitume),
 - o les eaux souterraines ne sont pas impactées car protégées par une couche argileuse.

Cette station-service doit faire l'objet de travaux de dépollution tout en restant en fonctionnement. Dans ce contexte, une solution de gestion pouvant apparaître comme la plus évidente pour maintenir la station-service en fonctionnement pendant les travaux est la mise en place d'une installation de venting (extraction forcée des gaz du sol). Dans cet exemple, le plan de conception des travaux se consacre alors à définir les principales caractéristiques dimensionnantes pour l'installation de venting (perméabilité à l'air des sols, espace disponible pour installer l'unité, couplage débit-dépression, etc.) et à vérifier la possibilité d'atteindre les objectifs de réhabilitation. Après avoir remis en perspective ces résultats au regard de l'ensemble du projet (budget, délais, etc.), le donneur d'ordre est en mesure de rédiger son dossier de consultation des entreprises. Il s'ensuit donc un gain de temps pour le donneur d'ordre dans sa démarche générale de planification des travaux.

Dans ce type de situations où différents facteurs existent et doivent être pris en compte pour mieux cerner les solutions techniques applicables (activité restant en fonctionnement, pollution concentrée dans la zone non saturée, sols sableux et polluant volatil), le plan de conception des travaux peut avoir toute sa place dans le plan de gestion lui-même, sous réserve que le titulaire du marché possède les compétences requises en ingénierie de travaux.

3.3.2 - Cas où les solutions ne sont pas connues dès l'initiation du plan de gestion

Le plan de gestion a pour vocation d'identifier au moins deux scénarios de gestion qui peuvent potentiellement répondre aux objectifs et enjeux de la réhabilitation du site. Mais le plan de gestion, dans la mesure où il conclut une phase d'études environnementales et de caractérisation des pollutions, n'a généralement pas validé leur faisabilité par des essais.

Ainsi, la mise en œuvre d'un plan de conception des travaux va apporter les éléments techniques nécessaires permettant de sélectionner le meilleur scénario de gestion proposé ou alors de faire ressortir la (ou les) solution(s) réellement applicable(s) dans le contexte du site. Selon les résultats des essais, le plan de conception des travaux aboutit à :

- la validation de plusieurs scénarios proposés dans le plan de gestion. Dans ce cas, le donneur d'ordre retient le scénario de son choix pour réaliser les travaux ;
- la validation d'un seul des scénarios proposés dans le plan de gestion. Dans ce cas, le donneur d'ordre retient prioritairement ce scénario pour la phase travaux ;
- l'abandon des différents scénarios de gestion proposés dans le plan de gestion :
 - o si le plan de conception des travaux est intégré au plan de gestion, le plan de gestion étudie alors d'autres scénarios (dans tous les cas valides d'un point de vue sanitaire),
 - o si le plan de gestion et le plan de conception des travaux sont élaborés de manière successive, le plan de gestion doit être révisé afin de définir de nouveaux scénarios (dans tous les cas valides d'un point de vue sanitaire).

Dans le cas général, **le plan de gestion aboutit à élaborer un plan de conception des travaux. Il doit alors définir précisément les natures et quantités d'essais, mesures, analyses, pilotes, etc. qui sont déclinés dans l'exécution du plan de conception des travaux** (et non pas conclure de manière globale et peu précise sur la nécessité de faire des essais sans en définir les caractéristiques). Les essais permettent alors de valider ou non la faisabilité des différents scénarios proposés (cf. § 3.2).

Les essais de faisabilité peuvent être réalisés sur le terrain et/ou en laboratoire selon les objectifs visés et le contexte. **Le passage par cette phase d'ingénierie de travaux est nécessaire pour les solutions de traitement « on site » et/ou « in situ », notamment en raison des hétérogénéités du sol, des contraintes liées à l'accessibilité d'une pollution (présence de réseaux, d'infrastructures enterrées, présence d'un bâtiment, etc.). De plus, dans le cas de techniques de traitement « in situ », la réalisation d'essais de terrain est indispensable.**

3.4 - Les principaux éléments de contenu

S'agissant d'une prestation d'ingénierie, le plan de conception des travaux doit apporter des éléments complémentaires techniques et pratiques par rapport à la stratégie de gestion envisagée et aux attentes du maître d'ouvrage. Des réponses pertinentes aux enjeux de faisabilité technique et financière des scénarios de gestion doivent ainsi figurer dans le plan de conception des travaux. Le dossier de consultation du maître d'œuvre ou des entreprises de travaux se fonde ensuite sur des éléments techniques (éprouvés et adaptés au projet) issus du plan de conception des travaux.

Quel que soit le moment où le plan de conception des travaux est élaboré (intégré dans le plan de gestion ou dissocié du plan de gestion), son contenu technique reste le même. Il ne s'agit que d'une question de présentation des éléments.

3.4.1 - Contenu technique

À partir du moment où il est décidé d'élaborer un plan de conception des travaux, il est admis que celui-ci comportera une étude d'avant-projet (cf. prestation B120 - norme NF X 31-620-3) et des essais de faisabilité, que ceux-ci soient réalisés en laboratoire (B111) et/ou sur le terrain (B112). De même que l'Analyse des Risques Résiduels (ARR) valide les objectifs de dépollution d'un point de vue sanitaire, ces essais de faisabilité permettent de valider globalement un ou des scénarios de gestion (en vérifiant leur cohérence en termes technique, budgétaire et environnemental). Le plan de conception des travaux va aussi s'attacher à fournir l'ensemble des éléments permettant le dimensionnement des travaux pour quantifier leur volume, leur durée prévisionnelle, et estimer leur coût tout en réduisant les incertitudes et aléas. Il s'agit ainsi d'un véritable pré-dimensionnement des travaux avant la réalisation d'une étude de projet (prestation B130) ou, plus directement, de la consultation des entreprises.

***Remarque :** comme pour un plan de gestion, un plan de conception des travaux ne peut pas être établi sur la base du seul retour d'expérience d'un prestataire, d'une propriété industrielle, d'un procédé, d'une exclusivité commerciale, etc. pour retenir une technique de dépollution ou un scénario de gestion plutôt qu'un autre. Sans remettre en cause l'expérience d'un prestataire qui est évidemment une valeur ajoutée importante dans ce type de prestation, cette approche « empirique » basée sur le seul constat d'une entité est notamment contraire au principe de spécificité défini dans la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués (chaque site est différent et une solution est spécifique à un site et son contexte) et ne peut ainsi être acceptée. Un plan de conception des travaux peut s'appuyer sur des référentiels reconnus (norme, publication scientifique, ...) mais, dans tous les cas, il comporte des essais de faisabilité.*

Un plan de conception des travaux, s'il peut être l'occasion de réaliser des investigations complémentaires pour statuer sur la faisabilité des scénarios envisagés, n'a néanmoins pas vocation à compléter les études existantes et à intégrer des diagnostics visant à délimiter une source de pollution ou à caractériser les expositions. Ces études relèvent des phases précédentes de la méthodologie nationale et sont à prévoir dans le cadre d'un diagnostic complémentaire.

Avant même de réaliser des essais de faisabilité décrits dans le paragraphe suivant, des **analyses de caractérisation préalables sont pertinentes** (référéncées **E1** en Figure 3) pour mieux cerner les solutions de traitement et réduire leur nombre au regard du contexte d'intervention. Ces analyses peuvent être réalisées à différents moments des études : notamment au cours des diagnostics et à l'entame du plan de gestion. Ainsi, acquérir par exemple des analyses granulométriques ou de teneurs en Carbone Organique Total (COT) au cours de la phase d'étude est indispensable lorsque des techniques de dépollution de type tri granulométrique ou oxydation sont à étudier.

Ces analyses de caractérisation préalables sont, par ailleurs utiles pour d'autres aspects, par exemple, pour mieux définir les hypothèses à retenir dans l'ARR prédictive.

Après l'exploitation des analyses de caractérisation préalables, deux catégories d'essais de faisabilité peuvent être mises en œuvre :

- **les essais d'orientation (E2)** visant à valider la possibilité de mettre en œuvre une technique de dépollution (par exemple, essai de respirométrie pour évaluer l'activité microbienne du sol ou détermination de la Demande du Sol en Oxydant (DSO)). À noter que cette typologie d'essais relève principalement (mais pas exclusivement) du laboratoire ;
- **les essais d'évaluation des performances (E3)** visant à vérifier l'atteinte des objectifs jusqu'à estimation de la vitesse de traitement donc de sa durée prévisionnelle. Ces essais concernent principalement la mise en œuvre de protocoles expérimentaux sur le terrain (par exemple, la réalisation d'essais de pompage ou l'estimation de la cinétique d'un venting en conditions réelles sur le terrain et des incertitudes associées). Ces essais nécessitent souvent des durées de pilote plus conséquentes et des coûts plus importants.

Chaque essai de faisabilité ne permet pas d'obtenir le même niveau de résultats et, en général, la mise en œuvre d'un essai ou d'une typologie d'essai permet d'atteindre un objectif spécifique (cf. Figure 3). Un phasage ou tout du moins une progression dans la nature des essais à mettre en œuvre peut être nécessaire. Par exemple, le plan de conception des travaux peut ainsi se décomposer en différentes étapes successives :

1. essai(s) sur le terrain pendant quelques jours pour mieux tester en conditions réelles les techniques de dépollution envisagées au stade du plan de gestion et ainsi intégrer les résultats pour affiner encore et si nécessaire le bilan « coûts – avantages » et effectuer un pré-dimensionnement de la technique qui apparaît la plus pertinente ;
2. essai(s) sur le terrain sur une durée plus importante (plusieurs semaines à plusieurs mois selon les enjeux et/ou la complexité du site) à partir de la technique la plus pertinente à la première étape afin de mieux appréhender le temps de traitement, son niveau d'efficacité et optimiser le process.

Comme les autres outils de la méthodologie nationale, le plan de conception des travaux est spécifique à un contexte ; il a donc une géométrie variable. En cohérence avec la norme NF X 31-620-3, il doit ainsi comporter des essais E2 et/ou E3, et peut intégrer des analyses préalables de caractérisation (E1), si celles-ci n'ont pas été réalisées lors des phases précédentes de diagnostic ou lors du plan de gestion. Cette approche relativement souple est nécessaire compte tenu de la variabilité des contextes susceptibles d'être rencontrés. Néanmoins, **le maximum de garanties pour sécuriser les travaux ultérieurs est évidemment apporté lorsque les trois catégories d'essai sont déployées (E1 + E2 + E3).**

Dans tous les cas, au regard des enjeux associés aux travaux, il ne peut être recommandé de les laisser reposer sur la seule réalisation d'analyses de caractérisation préalable (E1). Cette démarche serait trop risquée puisque correspondant encore au domaine de la connaissance de la pollution et de ses impacts (cf. Figure 1). **Pour ces raisons, un plan de conception des travaux ne peut pas uniquement contenir des analyses de caractérisation préalables (E1).**

L'annexe 1 présente pour les principales techniques de dépollution définies dans la norme NF X 31-620-4, les essais de faisabilité associés ainsi que leurs principales caractéristiques (paramètres limitants et d'exclusion).

Il est également recommandé de réaliser plusieurs essais de faisabilité pour un même site pour mieux apprécier leur reproductibilité et ainsi conforter les conclusions du plan de conception des travaux. Accroître le nombre d'essais permet, en effet, de mieux apprécier les hétérogénéités géologiques et de la pollution, etc. De la même manière, il peut être réalisé des essais de temporalités différentes.

Afin de mieux comprendre la démarche générale associée à ces essais de faisabilité et, plus globalement, à l'élaboration d'un plan de conception des travaux, un exemple issu d'un cas réel (site à forts enjeux) est présenté en annexe 2. Au-delà de l'ampleur des essais détaillés dans cet exemple, il convient plutôt d'appréhender la méthodologie mise en œuvre pour acquérir des éléments de dimensionnement destinés à sécuriser le choix d'un scénario de gestion et les travaux qui en découlent. Cette approche est ainsi tout à fait valable avec des adaptations dans des contextes moins complexes.

Guide technique de l'ADEME relatif aux essais de faisabilité de traitement des sols pollués



Ce document est issu du projet *Estrapol* (*Essais de Traitabilité de la Pollution et de Sols*) En cohérence avec le présent guide relatif au PCT, le rapport d'Estrapol identifie et décrit, notamment, les différents essais pour 14 techniques de dépollution différentes. Ce rapport devrait être publié d'ici la fin de l'année 2019.

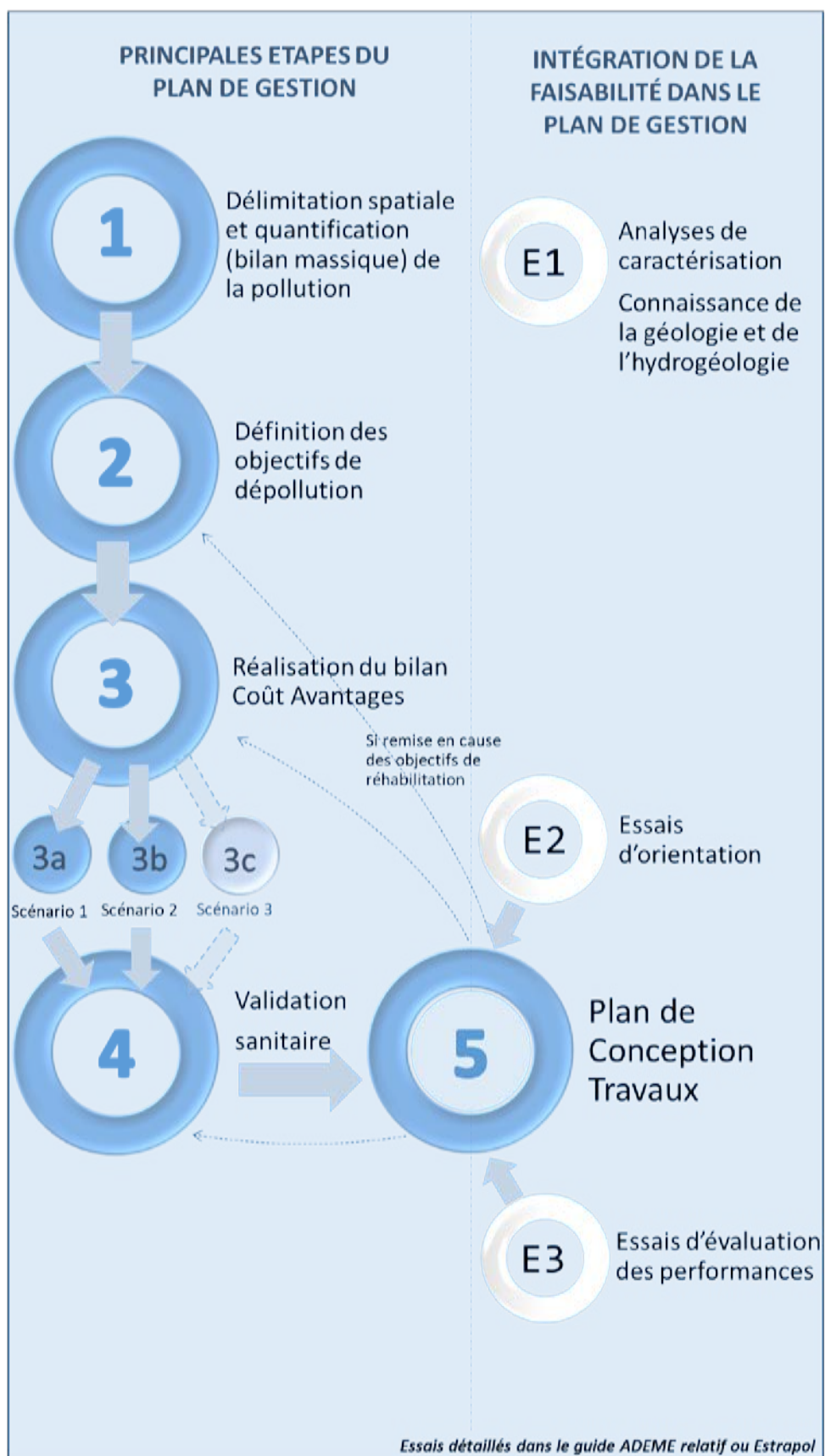


Figure 3 : Logigramme sur l'intégration des éléments de contenu d'un plan de conception des travaux (exemple au stade du plan de gestion).

À l'issue du plan de conception des travaux, les différents aspects relatifs à la mise en œuvre des scénarios de gestion envisagés doivent avoir été validés, notamment :

1. la possibilité d'atteindre les objectifs de dépollution ;
2. les principaux paramètres et facteurs clefs qui conditionnent la faisabilité du traitement ;
3. les principaux éléments de dimensionnement à prendre en compte pour les travaux ;
4. l'estimation des délais de traitement et donc la durée prévisionnelle globale des travaux ;
5. les orientations pour la réception des travaux et pour la surveillance post-travaux ;
6. une estimation du budget général associé aux travaux détaillé par phase (préparation, installation, traitement, suivi et contrôle des travaux, démobilisation, restitution, réception et surveillance) ;
7. l'ajustement du projet de réhabilitation compte tenu des conclusions du plan de conception des travaux.

Par ailleurs, les limites et incertitudes associées aux essais réalisés et aux travaux prévus doivent avoir été réévaluées et précisées au donneur d'ordre.

Le plan de conception des travaux doit également aborder et intégrer des aspects connexes à la technique de traitement et à la mise en œuvre du scénario de gestion comme :

- les modalités de gestion des effluents liquides et/ou gazeux (pompés et traités) et des déchets du chantier ;
- les modalités de gestion des nuisances du chantier (poussières, bruit, odeur, vibrations, etc.) ;
- les modalités de gestion des contraintes susceptibles d'être rencontrées (géotechniques, accès et organisation générale des travaux : espace et utilités disponibles, co-activité éventuelle, etc.) ;
- les mesures de sécurité des opérateurs et éventuels intervenants extérieurs (en tenant compte de l'élaboration des documents administratifs adéquats) ;
- etc.

En cohérence avec la norme NF X 31-620-3 (prestation PCT), l'ensemble des points listés précédemment doivent ainsi être repris et détaillés dans le livrable du plan de conception des travaux.

Si dans la plupart des cas, le plan de conception des travaux s'attache à étudier des aspects liés aux solutions de dépollution envisagées, il peut également concerner d'autres aspects relatifs aux mesures constructives à mettre en œuvre pour protéger des usagers de l'exposition à certains polluants : par exemple, quel extracteur utiliser pour gérer les flux de polluants sous un bâtiment tant en termes d'évacuation de la pollution (baisse des concentrations dans l'air intérieur) qu'en termes de coût et de confort (nuisances générées, intégration du dispositif dans un bâti, etc.) ? Il pourra être fait appel à des compétences spécifiques pour mieux dimensionner ce type d'installations (cf. § 4.2). Dans ces contextes, les essais réalisés viennent valider des solutions de mise en sécurité et compléter la mise en œuvre d'actions sur les sources de pollution et leurs impacts. Un plan de conception des travaux pourra ainsi très bien comporter des essais propres à la définition d'un traitement d'une pollution et de son impact mais aussi des essais spécifiques et complémentaires sur la mise en place de mesures constructives.

Après démonstration de la faisabilité technique d'une ou des solutions définies au plan de gestion, de la vérification des performances attendues complétées des éléments d'aide au dimensionnement, le plan de conception des travaux actualise ainsi les scénarios de gestion envisagés. **Les parties du plan de gestion les plus directement concernées sont le bilan massique, le bilan « coûts – avantages », l'évaluation des risques sanitaires (détail dans le § 3.4.2), les modalités de contrôle et de surveillance, les restrictions d'usage, voire les aspects traitant de la communication.**

Il est essentiel que toute évolution du projet de réhabilitation soit prise en considération avant l'engagement du plan de conception des travaux (par exemple, construction d'un bâtiment de plain-pied au lieu d'une construction sur vide-sanitaire, modification de l'usage futur du site, etc.). L'incidence de ces évolutions sur les travaux de dépollution doit être discutée afin d'assurer la cohérence entre les différents documents traitant de la gestion de la pollution. À titre d'exemple, certains éléments nécessitent plus particulièrement une continuité entre les études : cubatures, objectifs de dépollution, extension de la pollution, bilan masse, etc. **Ce point de vigilance est tout particulièrement valable lorsqu'il y a une déconnexion entre le plan de gestion et le plan de conception des travaux.** En effet, plusieurs semaines, plusieurs mois voire plusieurs années, peuvent s'écouler entre les différentes études conduisant généralement à une évolution d'un projet. Une mise à jour des données d'entrée est alors nécessaire pour pouvoir réaliser le plan de conception des travaux de manière pertinente.

3.4.2 - Évaluation des risques sanitaires

La méthodologie nationale préconise la mise en œuvre d'une évaluation des risques sanitaires à différents moments du processus de gestion :

- au stade du plan de gestion, au moyen d'une ARR « prédictive » qui permet de s'assurer que les pollutions résiduelles qui seront laissées en place seront compatibles avec les différents scénarios de gestion (validation sanitaire des objectifs de réhabilitation). L'évaluation des risques sanitaires est alors réalisée à partir des concentrations résiduelles à atteindre à la fin des travaux, estimées sur la base notamment de la quantification des polluants, des performances connues des techniques de dépollution et du bilan « coûts – avantages » ;
- à l'issue des travaux de dépollution, au moyen d'une ARR « fin de travaux » qui permet de valider que les concentrations résiduelles réellement mesurées à la fin des travaux conduisent à des expositions acceptables sur le plan sanitaire.

Deux situations peuvent être rencontrées selon les résultats des essais de faisabilité mis en œuvre dans le cadre du plan de conception des travaux :

- la possibilité d'atteindre les objectifs de réhabilitation est confirmée par les essais de faisabilité, l'ARR prédictive réalisée dans le plan de gestion reste valide. Le processus de gestion se poursuit pour aboutir à la concrétisation des travaux ;
- les résultats des essais de faisabilité conduisent à modifier les objectifs de réhabilitation, l'ARR prédictive doit alors être actualisée.

Lorsqu'une mise à jour de l'évaluation des risques sanitaires est requise, celle-ci devra prendre en compte les modifications des données d'entrée utilisées dans les calculs, telles que (liste non exhaustive) :

- les paramètres physico-chimiques des sols en place (type de sol, épaisseur,...) ;
- les concentrations résiduelles prédictives attendues à l'issue de la réhabilitation.

Intégrer dès les diagnostics la réalisation d'analyses de caractérisation préalables (E1) permet ainsi de réduire les incertitudes associées aux données d'entrée de l'évaluation des risques sanitaires (ARR prédictive) et éviter autant que possible son actualisation pour des paramètres de base issus de la littérature et retenus par défaut qui pourraient être remis en cause ultérieurement.

Enfin, à l'issue des travaux de réhabilitation, y compris en cas de reprise des calculs sanitaires au stade du plan de conception des travaux, la réalisation d'une ARR « fin de travaux » est toujours requise. Les caractéristiques des milieux, les concentrations résiduelles voire les mesures constructives effectivement mises en place seront prises en compte dans cette dernière phase d'évaluation des risques sanitaires. L'ARR « fin de travaux » est alors intégrée au dossier de récolement conformément à la méthodologie nationale.

3.4.3 - Délais de réalisation d'un plan de conception des travaux

Des durées moyennes de quelques semaines à quelques mois sont usuellement rencontrées pour la réalisation du plan de conception des travaux suivant le nombre et la complexité des essais à conduire, ce qui en fait **une étape, en général, assez courte par rapport à la durée générale de l'ensemble du processus de gestion.**

Concernant la mise en œuvre générale de la phase d'essais de faisabilité, des étapes communes aux différentes typologies d'essais et successives peuvent être distinguées :

1. **en amont des essais proprement dits, une phase de préparation de l'intervention est nécessaire.** Pour les essais en laboratoire, les délais reposent davantage sur la disponibilité d'échantillons pour réaliser les essais ou sur la nécessité de monter des protocoles expérimentaux spécifiques. Pour les essais de terrain, différents facteurs peuvent influencer les délais de réalisation (disponibilité du matériel ou des équipes du prestataire en charge du plan de conception des travaux, validité des documents d'accès ou de sécurité, élaboration d'un devis par le prestataire ou du contrat par le donneur d'ordre) ;
2. **la phase de réalisation des essais.** Pour les essais en laboratoire, cette phase débute au moment de la réception des échantillons à étudier alors que sur le terrain, cette phase dépend principalement du besoin de créer des ouvrages complémentaires pour la réalisation des essais ou de la possibilité de pouvoir intervenir sur des ouvrages existants ainsi que dans la mise en place du matériel nécessaire à la réalisation des essais, aux réglages des installations et au traitement des rejets. Dans le cas d'essais permettant d'apprécier la biodégradation d'une pollution, la durée peut être supérieure à un mois alors que des essais d'extraction de gaz du sol peuvent s'étaler sur quelques jours à quelques semaines en testant des effets de marche / arrêt sur les concentrations en polluants volatils. À noter qu'un délai de quelques jours lié à la démobilisation du matériel et à son retrait doit éventuellement être pris en compte. Quelques exemples de délais peuvent ainsi être précisés :
 - a. la réalisation d'analyses de caractérisation préalables (E1) relève classiquement des délais usuels des laboratoires d'analyses (quelques jours à 2 semaines environ),
 - b. les délais associés à la réalisation d'essais d'orientation (E2) sont généralement de quelques semaines,
 - c. les délais associés à la réalisation d'essais de performance (E3) sont plus difficilement

estimables et dépendants, notamment des objectifs associés et de leur lieu de réalisation (laboratoire et/ ou sur le terrain). Selon le protocole mis en œuvre et la densité des essais, des délais de quelques semaines à plusieurs mois peuvent être observés ;

3. **la phase d'exploitation des résultats des essais et d'élaboration du rapport de plan de conception des travaux.** À titre indicatif, il peut être précisé que les délais alloués à l'élaboration du livrable s'élèvent régulièrement de quelques semaines pour les cas les plus simples à quelques mois pour un dossier relativement complexe incluant de nombreuses données et différents types d'essais nécessitant des mises en relation entre les résultats en laboratoire et ceux des essais de terrain.

3.4.4 - Éléments de coûts

La notion de coût d'une prestation, quelle qu'elle soit, est toujours relative, dépendante du contexte d'intervention (contexte d'urgence suite à un accident ou processus classique de gestion d'une pollution historique). Par ailleurs, la reproduction directe d'une prestation d'un site à un autre n'a généralement pas de sens, en raison des spécificités de chaque site (accès plus ou moins aisé à un secteur, proximité de bâtiments, présence de structures ou réseaux enterrés, etc.).

Pour ces différentes raisons, **il y a toujours intérêt à être prudent sur un coût résultant d'un précédent retour d'expérience et qui serait alors considéré comme un coût générique.**

Néanmoins, pour fixer les idées et à titre indicatif, il peut être présenté plutôt quelques éléments de budget associé à cette phase d'ingénierie de travaux et d'élaboration d'un plan de conception des travaux. Ainsi, **il est régulièrement constaté pour la phase d'étude de faisabilité un coût global de 5 à 15 % du budget prévisionnel des travaux de dépollution.**

Cette dépense (ou plutôt cet investissement) doit, toutefois, être mise en relation avec l'économie générée lors des travaux de réhabilitation et la meilleure maîtrise de leur budget donc de la meilleure sécurisation du budget général du projet.

La réalisation d'analyses de caractérisation préalables (E1) représente une dépense de quelques centaines d'euros par échantillon suivant les paramètres recherchés. La mise en œuvre d'essais d'orientation ou de performance en laboratoire ou de terrain (E2, E3) à partir d'ouvrages existants (type test d'extraction des gaz du sol ou essais de pompage-écrémage) représente en général quelques milliers à quelques dizaines de milliers d'euros suivant leur nombre, leur durée ou leur complexité.

Ainsi, pour donner quelques éléments indicatifs, le coût global moyen associé à l'élaboration d'un plan de conception des travaux qui comprendrait au moins un essai d'orientation en laboratoire et un essai de performance sur le terrain peut s'élever à quelques dizaines de milliers d'euros. Les montants sont généralement liés à la complexité et aux enjeux de chaque dossier.

3.5 - La phase de commande d'un plan de conception des travaux

Le PCT, étape charnière entre les études et les travaux, permet :

- d'affiner le choix d'un ou plusieurs scénarios de gestion parmi ceux proposés à l'issue du plan de gestion ;
- de limiter les incertitudes et aléas liés à la mise en œuvre des travaux ;
- de fournir des éléments facilitant le travail de dimensionnement des travaux.

La consultation pour la mise en œuvre d'un PCT n'arrive pas au début de la phase de diagnostic mais a minima au moment du plan de gestion. En effet, à ce stade, la connaissance du site et de ses spécificités ainsi que le niveau de caractérisation de la pollution sont plus précises. Ainsi, il ne s'agit évidemment pas de mettre en œuvre tous les types d'essais possibles mais de prévoir ceux qui sont nécessaires au regard du contexte. Par exemple, la présence d'une phase flottante sur une nappe pose, en premier lieu, la question de la réalisation d'essais de récupération de ce produit.

En se situant à la frontière des domaines d'activités et de compétences des études et des travaux, sa réalisation nécessite l'implication d'acteurs maîtrisant ces deux domaines.

Le présent chapitre présente succinctement le contenu du cahier des charges, celui des réponses des prestataires, les avantages et inconvénients liés à la période choisie pour mener cette consultation dans le cadre du planning global de gestion d'un site, et les principales procédures de consultation envisageables.

3.5.1 - Le contenu du cahier des charges pour un PCT

Avertissement : le plan de gestion servant de base à la réalisation du PCT doit être en cohérence avec la version la plus récente du projet afin de vérifier que les évolutions du projet ne remettent pas en cause les scénarios de gestion envisagés.

Il convient que le donneur d'ordre (et/ou son représentant) fasse un travail de synthèse des données et études existantes en lien avec le site, objet de la consultation.

Il doit également définir précisément ses besoins en termes de :

1. **contenu technique / méthodologique / organisationnel des propositions des candidats ;**
2. **compétences de l'équipe de projet ;**
3. **nature et contenu des prestations à réaliser.** Pour ce faire, il pourra utilement faire référence aux exigences définies dans la norme NF-X 31-620-3 ;
4. **restitution des résultats** voire éventuel accompagnement pour la prise de décision (présentation et communication).

Il est également recommandé que le donneur d'ordre (ou son représentant) :

- **prévoit un nombre suffisant d'essais de faisabilité** pour démontrer la pertinence du ou des scénarios étudiés en vue d'atteindre les objectifs de dépollution (cf. § 3.4.1) ;
- **élabore un cahier des charges relativement ouvert ou autorise les variantes (si cela est juridiquement possible pour lui)** en donnant la possibilité aux candidats de proposer des solutions complémentaires à celle(s) qui sont décrite(s) dans le cahier des charges. Si cette ouverture dans la consultation peut induire un peu plus d'hétérogénéité dans les offres des candidats, elle permet également de mieux faire ressortir le savoir-faire des candidats ayant perçu les spécificités du contexte d'intervention et qui peuvent alors proposer une solution plus adaptée.

Quelques éléments complémentaires peuvent également être utiles à préciser pour un donneur d'ordre dans son dossier de consultation afin de réduire l'hétérogénéité des offres des candidats et sensibiliser sur ses attentes (par exemple, sur la tenue des délais, le budget alloué à l'opération, les aspects hygiène et sécurité du chantier, les conditions d'accès, ...).

Enfin, la fourniture d'un bordereau de prix dans le dossier de consultation présente l'avantage :

- pour les candidats, d'offrir un cadre général de présentation des prestations à réaliser ;
- pour le donneur d'ordre, de fournir un référentiel commun de réponse facilitant ainsi l'analyse des offres puis la prise de décision.

Le tableau suivant propose une liste des principaux postes à prendre en compte dans un bordereau de prix lors de la consultation de prestataires pour la réalisation d'un plan de conception des travaux. Des éléments complémentaires d'appréciation sont apportés dans les tableaux fournis en annexe 1.

Tableau 1 : Proposition de liste des principaux postes constitutifs d'un bordereau de prix pour élaborer un plan de conception des travaux (liste non exhaustive).

Désignation des postes	Éléments de contenu en cohérence avec les prestations de la norme NF X 31-620-3
Préparation de l'essai	Ce poste (en général fixé au forfait) peut intégrer : - le montage d'un protocole expérimental ; - une visite du site par le prestataire ; - l'appropriation des études existantes ; - l'ensemble des démarches administratives, notamment l'élaboration des procédures pour garantir la sécurité de son intervention et la réservation du matériel nécessaire à son intervention. Il peut aussi s'agir de prévoir des constats d'huissier, l'aménagement d'accès, etc.
Réalisation de ou des essai(s)	Ce poste (en général fixé selon des prix unitaires) a un contenu dépendant de la nature des essais à mettre en œuvre. Pour des essais en laboratoire, ce poste intègre : - le cas échéant, la réalisation des investigations de terrain nécessaires à la constitution d'échantillons en vue d'analyses de caractérisation et/ou d'essais en laboratoire ; - l'essai en lui-même (mise en œuvre et suivi) ; - la gestion des déchets. Pour des essais de terrain, ce poste intègre : - l'amenée et repli du matériel ; - les éventuels consommables ; - le branchement et le réglage des installations ; - la gestion des nuisances associées à la mise en œuvre des essais (par exemple, gestion d'éventuels rejets et déchets produits quelle que soit leur nature) ; - la réalisation de l'essai de terrain (y compris les aspects de sécurisation préalable) ainsi que les moyens humains nécessaires à son suivi ; - le cas échéant, la remise en état du site. Le bordereau de prix (soit fixé par le donneur d'ordre soit complété par le prestataire) mentionne clairement le nombre d'essais, leur typologie ainsi que le nombre d'analyses prévues.
Interprétation des résultats	Ce poste (en général fixé au forfait) concerne plus particulièrement l'exploitation des résultats des différents essais réalisés : - exploitation et analyse critique des résultats des différents essais de faisabilité (orientation et performance) ; - propositions d'orientation pour la suite du projet en tenant compte des limites des essais et des incertitudes résiduelles.
Constitution d'un livrable	Ce poste (en général fixé au forfait) consiste à élaborer un rapport d'intervention (cf. prestation PCT définie dans la norme NF X 31-620-3). Dans cette partie, il peut aussi être prévu une phase de restitution des résultats auprès du donneur d'ordre et/ou d'autres parties impliquées dans la phase de faisabilité (administration par exemple).

Il peut également être judicieux de laisser la possibilité aux candidats de proposer des études et investigations supplémentaires sur des aspects autres que la problématique de pollution (géotechnique, faune-flore, caractérisation des bâtis, présence de réseaux et infrastructures enterrés, contraintes de voisinage, etc.).

Dans tous les cas, l'intégralité des études disponibles est à tenir à disposition ou à fournir aux candidats par le donneur d'ordre en annexe du Dossier de Consultation des Entreprises. Les tableaux d'analyses et les plans sont à joindre idéalement sous format numérique modifiable pour être utilement exploités par les candidats.

Les candidats ont ainsi vocation à s'approprier les études existantes pour élaborer leur offre, sans en réaliser toutefois une tierce expertise. Toute offre n'ayant pas fait l'objet, de la part des candidats, de propositions complémentaires à ce qui est indiqué dans le DCE, équivaut à accepter les conclusions du plan de gestion sur le programme d'essais élaboré pour répondre aux objectifs définis dans le plan de gestion. Cette acceptation ne préjuge toutefois pas des résultats des essais qui seront réalisés dans le cadre du plan de conception des travaux ni donc de l'adéquation du ou des scénarios de gestion envisagés au stade du plan de gestion.

3.5.2 - Les réponses des prestataires

Dans la mesure où le PCT fait appel à des compétences en études et en travaux, sa réalisation nécessite l'implication d'acteurs maîtrisant ces deux domaines.

Dans le cas où le candidat ne dispose pas des compétences dans l'un des deux domaines, il lui est vivement recommandé de s'adjoindre ces compétences. Cela peut se faire en sous-traitant la partie non maîtrisée ou en proposant une offre en groupement avec une société maîtrisant lesdites compétences (travail en co-traitance). Dans le premier cas, le candidat endosse la responsabilité des résultats de son sous-traitant, alors que dans le deuxième cas, les responsabilités peuvent être partagées ou assumées par chacun des candidats suivant la nature du groupement (conjoint ou solidaire).

Dans le cadre de leur réponse à la consultation pour la réalisation d'un PCT, les candidats doivent détailler :

- la méthodologie déployée pour la réalisation des essais, notamment leur nombre et durée ;
- les moyens et matériels techniques utilisés ;
- la gestion des éventuelles nuisances ;
- le temps alloué au suivi de chaque essai ;
- les compétences et l'organigramme de l'équipe de projet ;
- le planning avec le phasage des opérations ;
- le contenu des livrables ;
- etc.

3.5.3 - Période choisie dans le planning global de gestion d'un site pour mener la consultation sur le PCT

Dans le cadre de la gestion globale d'un site, la consultation pour la réalisation du PCT peut intervenir à différents stades :

- en même temps que la consultation pour la réalisation du PG ;
- en tant qu'étape spécifique entre le PG et les travaux ;
- en même temps que la consultation pour la réalisation des travaux.

Chacune de ces options présente des avantages et des inconvénients, qui sont décrits ci-dessous et rappelés au § 3.5.8.

3.5.4 - Consultation simultanée pour le plan de gestion et le plan de conception des travaux

La commande d'un plan de gestion intégrant un plan de conception des travaux n'est envisageable qu'à partir du moment où les éléments préliminaires au plan de gestion ont été obtenus et ont permis d'identifier les scénarios de gestion possibles. Dans le cas où les éléments préliminaires ne sont pas connus avant l'engagement du plan de gestion, il est préconisé de commander le plan de conception des travaux en tant qu'étape spécifique à l'issue du plan de gestion.

Lorsque la consultation intègre de manière concomitante un plan de gestion et un plan de conception des travaux, elle doit donc présenter de façon claire et exhaustive l'ensemble des éléments de connaissance préliminaires à l'élaboration du plan de gestion. Les candidats ont ainsi vocation à proposer les essais de faisabilité pressentis, au regard du contexte et des informations d'ores et déjà disponibles sur le site, objet du plan de gestion. Comme dans toute démarche itérative, les essais de faisabilité pourront faire l'objet d'adaptation au fur et à mesure de l'élaboration du plan de gestion.

Dans ce cas de figure, un dialogue entre le donneur d'ordre et son prestataire est nécessaire à l'issue du plan de gestion afin d'ajuster le programme des essais de faisabilité initialement prévu au cahier des charges et tenir compte ainsi des conclusions du plan de gestion (cf. Figure 3). La contractualisation d'un PCT au forfait est ainsi à éviter.

3.5.5 - Consultation en tant qu'étape spécifique entre le plan de gestion et les travaux (commande spécifique d'un plan de conception des travaux)

La consultation pour l'élaboration du plan de conception des travaux est réalisée après la remise du plan de gestion. **Le prestataire en charge du plan de gestion doit donc définir précisément, pour le compte de son donneur d'ordre, le programme d'essais de faisabilité à prévoir pour affiner le choix des solutions de gestion.** Le donneur d'ordre dispose alors de ces recommandations pour rédiger son cahier des charges en vue de commander un plan de conception des travaux, ce qui lui facilite la tâche.

Cette succession logique est un contexte facile à gérer pour un donneur d'ordre d'un point de vue administratif. Néanmoins, elle peut avoir une incidence sur les délais de gestion (consultation et choix d'un prestataire), la continuité des interventions, etc. Cette procédure peut aussi amener une vision nouvelle d'un contexte et de solutions de gestion.

Le donneur d'ordre va ainsi pouvoir bénéficier des résultats du plan de conception des travaux pour rédiger son cahier des charges pour la réalisation des travaux. Les entreprises de travaux vont alors élaborer leur offre sur la base de ces informations, ce qui limite les aléas et les incertitudes.

3.5.6 - Consultation simultanée PCT et réalisation des travaux

Dans ce cas comme dans le précédent, la consultation pour l'élaboration du plan de conception des travaux est réalisée après la remise du plan de gestion. Le prestataire en charge du plan de gestion doit donc définir précisément, pour le compte de son donneur d'ordre, le programme d'essais de faisabilité à prévoir pour affiner le choix des solutions de gestion¹. Le donneur d'ordre dispose alors de ces recommandations pour rédiger son cahier des charges en vue de commander un plan de conception des travaux, ce qui lui facilite la tâche.

Le dossier de consultation doit alors présenter de façon claire et exhaustive les résultats du plan de gestion qui ont une incidence sur la réalisation du plan de conception des travaux (par exemple localisation et extension des sources de pollution, concentrations en polluants des milieux à traiter, perméabilité des sols, bilan « coûts - avantages », contraintes à prendre en compte, etc.), ce qui nécessite un travail de synthèse de la part du donneur d'ordre.

La consultation réalisée dans ce cas porte sur le pré-dimensionnement des travaux (via le PCT) mais aussi sur leur réalisation. Le contrat passé avec l'attributaire du marché est alors un contrat de type « conception-réalisation ».

Il n'y a ainsi pas d'autre consultation à conduire après cette phase. Mais un échec éventuel des essais peut remettre en question le choix de l'entreprise pour la réalisation des travaux. Pour limiter les risques, le marché peut être découpé en différentes phases (cf. § 3.6.4).

3.5.7 - Cas où le PCT remet en question les conclusions du PG

Si les conclusions du PCT remettent totalement en question les scénarios de gestion proposés en conclusion du plan de gestion, celui-ci doit être révisé. L'itération de ce dernier peut être difficile d'un point de vue contractuel lorsque la phase liée à la réalisation du plan de gestion a été soldée.

Une consultation spécifique doit alors être lancée pour qu'un nouveau marché soit passé afin de reprendre le plan de gestion et réétudier de nouveaux scénarios de gestion. Dans les faits, cette finalité devrait rester néanmoins marginale à partir du moment où le plan de gestion et les études préalables permettent de minimiser les incertitudes résiduelles (capacité d'accès aux sources de pollution, délimitation spatiale de la zone impactée, caractérisation de la pollution, etc.).

¹ Pour rappel, la méthodologie nationale, dans son chapitre 4, demande que le plan de gestion présente au moins deux scénarios de gestion. **Si les aspects de faisabilité ne sont pas traités dans le plan de gestion, celui-ci précise la nature et le nombre d'essais de faisabilité à prévoir dans le plan de conception des travaux pour chacun des scénarios,**

3.5.8 - Synthèse des avantages et inconvénients propres à la portée de la consultation

Le Tableau 2 présente la synthèse des avantages et inconvénients associés à la portée de la consultation pour la réalisation d'un PCT dans le planning global de gestion d'un site.

Tableau 2 : Synthèse des principaux avantages et inconvénients selon la portée de la consultation.

Mode de consultation	Avantages	Inconvénients
Consultation simultanée PG + PCT	Si le PCT remet en question les conclusions du PG, celui-ci peut être mis à jour sans nouvelle consultation.	Difficulté dans certains cas à proposer des essais ciblés sans avoir les conclusions du PG => difficulté de rédaction du DCE pour le PCT ainsi que pour l'analyse des offres des candidats pour un donneur d'ordre non spécialiste ou sans AMO / MOE.
	Gain de temps et continuité dans la connaissance du site.	Manque de souplesse si le programme d'essais défini au cahier des charges est remis en cause lors de l'élaboration du PG.
Consultation spécifique pour le PCT entre le PG et les travaux.	Les essais à réaliser sont définis précisément en conclusion du PG => facilite la rédaction du DCE pour le PCT ainsi que l'analyse des offres.	Si le PCT remet en question les conclusions du PG, il faut commander un nouveau PG.
	Processus par étape, donc mieux défini et cadré.	Nécessite plusieurs phases de consultation, ce qui peut influencer sur les délais et induire une discontinuité dans les interventions voire d'expérience sur le contexte du site dans le cas d'un nouveau prestataire.
Consultation simultanée PCT + travaux	Les essais à réaliser sont définis en conclusion du PG => facilite la rédaction du DCE pour le PCT ainsi que l'analyse des offres.	L'échec des essais peut remettre en cause le choix du prestataire réalisant les travaux. Une possibilité d'arrêter le marché au stade de l'ingénierie de dépollution est à prévoir.
	Contrat de conception/réalisation qui est engageant pour les sociétés impliquées dans l'ingénierie et les travaux.	Si le PCT remet en question les conclusions du PG, il faut commander un nouveau PG.
	Gain de temps.	Risque de conflit d'intérêt pour les sociétés réalisant l'ingénierie et les travaux (prévoir des contrôles par un tiers).

3.6 - Les procédures de consultation envisageables

3.6.1 - Cas des donneurs d'ordre privés

Un donneur d'ordre privé, qui n'est pas soumis aux dispositions réglementaires définies dans le Code des Marchés Publics, dispose de toute latitude pour étendre le périmètre des prestations nécessaires à la réalisation du plan de conception des travaux.

Les contrats de droit privé peuvent être modifiés si des évolutions sont jugées nécessaires. Ces modifications peuvent être à l'initiative du donneur d'ordre ou du prestataire. Elles nécessitent bien sûr des échanges et un accord préalable entre ces deux partenaires avant toute modification du contrat.

3.6.2 - Cas des donneurs d'ordre publics

Les donneurs d'ordre publics sont tenus de respecter certaines dispositions réglementaires comme le Code des Marchés Publics et la loi 85-704 du 12 juillet 1985 « *relative à la maîtrise d'ouvrage publique et à ses rapports avec la maîtrise d'œuvre privée* ».

Ainsi, pour un donneur d'ordre public, toute modification d'un marché doit passer par des actes juridiques, comme les avenants, qui sont consommateurs de temps et dont le montant est plafonné en fonction du montant global du marché initial.

Toutefois, **au regard des coûts généralement alloués pour l'élaboration d'un plan de gestion, la prise d'un avenant en cas de modifications du programme initial est tout à fait possible sans qu'une remise en cause du marché soit forcément nécessaire.**

Il est également possible de procéder par ordre de service à partir du moment où les conditions de révision du marché (clauses d'option) ont été précisées dans le marché initial. Cela peut concerner des augmentations de quantités, de nouvelles prestations et cela jusqu'à une augmentation de montant du marché initial d'un pourcentage maximum que le donneur d'ordre s'autorise (cf. article 139 du décret n° 2016-360 du 25 mars 2016).

3.6.3 - Consultation dédiée à la commande d'un PCT

Si le donneur d'ordre lance une consultation spécifique pour la réalisation du PCT, il peut alors mettre en œuvre tous les modes de consultation habituels :

- consultation ouverte (tout candidat peut répondre – nombre d'offres non limité) ;
- consultation restreinte précédée d'un appel à candidatures (appel à candidatures ouvert, suivi d'une pré-sélection de quelques candidats – au maximum 5 en marché public - recevant le cahier des charges et autorisés à répondre à l'appel d'offres) ;
- consultation restreinte sans appel à candidatures (le donneur d'ordre consulte les candidats de son choix) ;
- gré à gré (le donneur d'ordre confie au prestataire de son choix la mission sans en consulter d'autres).

Suivant les montants mis en jeu, les deux derniers modes de consultation ne peuvent pas toujours être mis en œuvre par les donneurs d'ordre publics.

3.6.4 - Consultations simultanées PG/PCT ou PCT/Travaux

Si le donneur d'ordre lance une consultation simultanée pour la réalisation du plan de gestion et celle du plan de conception des travaux ou pour la réalisation du plan de conception des travaux et celle des travaux, alors les différents modes de consultation présentés au § 3.6.3 pour une consultation dédiée au plan de conception des travaux restent valables.

Il est toutefois vivement recommandé de passer par une procédure de type **marché alloti, avec tranches optionnelles**. En effet, ce mode de consultation permet :

- aux candidats de pouvoir s'adjoindre les compétences d'un autre prestataire en travaillant en co-traitance avec celui-ci sur un des lots, ou de confier un ou plusieurs lots à un (ou des) autre(s) prestataire(s) ;
- au donneur d'ordre de marquer des points d'arrêt entre les différentes tranches afin de mieux définir les contours de la mise en œuvre de la tranche suivante, voire de ne pas la réaliser si les résultats de la tranche précédente ne sont pas satisfaisants. Un programme de base (tranche ferme) est alors établi. Il est suivi d'une ou plusieurs phases (tranche(s) optionnelle(s)) qui seront, le cas échéant, déployées. Il est important de rappeler que le montant de la tranche optionnelle peut être plus important que celui de la tranche ferme.

***Exemples :** le marché peut être structuré en tranche ferme pour le plan de gestion, puis en tranche optionnelle pour le plan de conception des travaux. Un autre mode de structuration d'un marché peut être de prévoir en tranche ferme, l'élaboration du plan de conception des travaux et en tranche(s) optionnelle(s), les travaux eux-mêmes. Ainsi, si le plan de conception des travaux conduit à la remise en cause des scénarios de gestion, le donneur d'ordre conserve la possibilité de ne pas affermir la (ou les) tranche(s) optionnelle(s), donc de ne pas engager les travaux.*



La procédure de dialogue compétitif ; une méthode méconnue mais adaptée à la consultation simultanée PCT/Travaux :

Le dialogue compétitif (ex appel d'offres sur performance) est l'un des modes de consultation envisageable lorsque le donneur d'ordre souhaite consulter simultanément pour le plan de conception des travaux et la réalisation des travaux. Cette procédure permet au donneur d'ordre de dialoguer en plusieurs phases successibles avec les candidats admis à participer à la procédure en vue de définir ou développer les solutions de nature à répondre à ses besoins et sur la base desquelles ces candidats sont invités à remettre une offre à chaque phase. Lorsque le donneur d'ordre estime que le dialogue est arrivé à son terme, il informe les candidats restants et les invite à présenter leur offre finale sur la base de la ou des solutions qu'ils ont présentées et spécifiées au cours du dialogue. L'attention du donneur d'ordre est attirée sur le fait qu'il est recommandé de permettre l'accès au site aux candidats pour qu'ils puissent réaliser les essais qu'ils estiment nécessaires.

Lors de cette procédure, le donneur d'ordre peut prévoir des primes au profit des participants au dialogue afin de prendre en compte les coûts liés au travail réalisé par les candidats. Le montant de ces primes doit être indiqué dans les documents de consultation.

<https://www.francemarches.com/sources/media/procedure-dialogue-competitif-France-Marches.pdf>

4 - Rôles et responsabilité des acteurs

La méthodologie nationale précise que le plan de conception des travaux peut être réalisé par différents acteurs : bureaux d'études spécialisés, entreprises de travaux, maître d'œuvre, etc.

La complétude des données à toutes les étapes de gestion d'un site pollué est primordiale pour le succès d'une opération de dépollution. Ces données s'acquièrent dès les premières étapes du diagnostic environnemental pour aller jusqu'au dimensionnement final du projet.

4.1.1 - Responsabilités du prestataire réalisant un PCT

Comme pour toute prestation, l'entité (ou les entités dans le cas d'une réponse en groupement/co-traitance) qui réalise un plan de conception des travaux porte la responsabilité des résultats qu'elle fournit à son donneur d'ordre. Ce constat est valable quelle que soit la mission (levée de doute, étude historique et documentaire, diagnostic, etc.).

Le prestataire doit mettre en avant les difficultés rencontrées ainsi que les limites et incertitudes qui affectent les conclusions de son plan de conception des travaux. Ce type de point de vigilance est courant dans le domaine des sites et sols pollués. En effet, puisque les interventions s'effectuent sur des pollutions non visibles, passées, multiples avec des contraintes fortes en termes de délais et/ou d'accès, il est évident que des incertitudes et des limites liées aux résultats obtenus lors de la réalisation des essais de faisabilité sont rencontrées et à intégrer pour mener à bien les travaux.

Néanmoins, le plan de conception des travaux est une amélioration de la situation par rapport aux pratiques antérieures à la méthodologie nationale d'avril 2017, où un plan de gestion théorique pouvait servir de cahier des charges. En effet, le PCT apporte des éléments de dimensionnement qui, en limitant les incertitudes et aléas, sécurisent la réalisation des travaux.

4.1.2 - Partage des responsabilités entre prestataires

S'agissant des relations entre deux prestataires, la principale question porte sur la responsabilité de l'échec des travaux réalisés par l'un si le PCT a été mené par l'autre. Il est toutefois nécessaire de rappeler ici que le PCT ne constitue pas une étude de dimensionnement des travaux. Le PCT fournit des éléments de dimensionnement permettant de réaliser ensuite le dimensionnement précis de ces travaux (soit lors d'une étude de projet soit lors de la consultation pour les travaux).

À l'issue du plan de conception des travaux, le dimensionnement précis des travaux peut ensuite être effectué :

- par un maître d'œuvre. Dans ce cas, l'entreprise met en œuvre les spécifications établies par celui-ci sans mener de calculs ou d'essais complémentaires. L'entreprise a alors une **obligation de moyens**. La responsabilité, en cas d'échec des travaux, relève du maître d'œuvre, sous réserve que son dimensionnement ait bien été repris et mis en œuvre par l'entreprise en charge des travaux de réhabilitation. Toutefois, si l'entreprise décèle un manque dans les essais réalisés ou des risques liés aux changements d'échelles, elle doit exercer son devoir de conseil conformément à la norme NF X 31-620-1 (engagement E2) ;

- par l'entreprise réalisant les travaux. Il s'agit alors d'une mission de conception-réalisation. L'entreprise assume la responsabilité des phases d'ingénierie et d'exécution des travaux. Elle prend donc la responsabilité de ce qu'elle met en œuvre et a, de fait, une **obligation de résultats**.

4.1.3 - Responsabilités du donneur d'ordre

Le donneur d'ordre porte également une responsabilité dans sa consultation pour la réalisation d'un PCT. Plus il est clair et précis dans sa demande et dans ses attentes, mieux les prestataires sauront assumer la responsabilité qu'ils auront dans l'exécution de leur mission. La rétention de données d'entrée par le donneur d'ordre engage sa responsabilité lors de la consultation des candidats. Il est important que les donneurs d'ordre s'assurent de mettre à disposition des candidats l'ensemble des documents relatifs au site pour leur permettre d'élaborer leur offre.

La responsabilité d'un donneur d'ordre est d'autant plus importante qu'il définit et impose des exigences très strictes dans son cahier des charges.

L'attention du donneur d'ordre est attirée sur le fait que le recours à une Assistance à Maîtrise d'Ouvrage (AMO) n'apporte pas les mêmes garanties qu'une Maîtrise d'œuvre (MOE), notamment sur la couverture assurantielle.

4.1.4 - Conflits d'intérêts

Les risques de conflit d'intérêt font l'objet d'un engagement spécifique dans la norme NF X 31-620-1 (E12). Les prestataires doivent informer leur donneur d'ordre en cas de conflit d'intérêt lors de la réalisation de leur mission.

4.2 - Compétences nécessaires

Conformément à la norme NF X 31-620-1, annexe A, les compétences d'un prestataire peuvent s'évaluer par une somme de connaissances et de savoir-faire. Il y a ainsi lieu de se reporter à la norme pour appréhender l'ensemble des compétences nécessaires pour réaliser une prestation du domaine B relative à l'ingénierie des travaux de dépollution. Néanmoins, quelques éléments, plus particuliers, sont rappelés ci-après.

Dans le cas du plan de conception des travaux, s'il est bien sûr nécessaire de connaître les principaux textes législatifs, réglementaires et méthodologiques applicables au domaine des sites et sols pollués (réglementation ICPE, méthodologie nationale, etc.), **il apparaît également tout aussi indispensable d'avoir une connaissance pratique des différentes techniques de traitement des sols et des eaux souterraines, y compris les principes généraux de leur dimensionnement, les bonnes pratiques de gestion et de conduite de chantier ainsi que les risques professionnels et environnementaux.** Comme dans toute prestation du domaine des sites et sols pollués, la définition et la prise en compte de mesures spécifiques pour maîtriser les aspects liés à la sécurité des personnels du prestataire mais plus généralement à l'ensemble du chantier sont indispensables.

Ainsi, le prestataire doit être en mesure de proposer à un donneur d'ordre le dimensionnement du matériel et des équipements nécessaires à la réalisation du plan de conception des travaux, tout en identifiant et en évaluant les risques associés. Il doit assurer le déroulement des essais, la limitation et le contrôle de leurs nuisances, notamment sur le terrain. D'autre part, il doit aussi être capable de se projeter dans la phase de travaux et savoir vérifier les aspects techniques, économiques et environnementaux des options retenues dans le cadre du bilan « coûts – avantages » et les mettre en perspective en tenant compte des différentes contraintes et incertitudes qui restent à l'issue du plan de conception des travaux.

Selon la nature des essais à réaliser, la recherche et l'intégration de compétences complémentaires au domaine des sites et sols pollués ou mixtes peuvent être nécessaires. Il peut s'agir, par exemple, de prendre en compte des aspects géotechniques liés à la présence de bâtiments dans la zone d'intervention. D'autres aspects peuvent se greffer sur le projet comme la gestion d'engins pyrotechniques, de matériaux contenant de l'amiante, de pollutions radioactives, de remontées de gaz dans l'habitat (besoin de thermiciens ou de spécialistes de la ventilation, etc.).

4.3 - Le positionnement de l'administration vis-à-vis du plan de conception des travaux

Les articles R.512-39-1, R.512-46-25 et R.512-66-1 du code de l'environnement, relatifs aux installations soumises respectivement à autorisation, enregistrement et déclaration, imposent à l'exploitant d'une Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE) de remettre en état son site selon l'usage futur défini. Pour les sites soumis à autorisation ou enregistrement, l'exploitant doit, de plus, remettre à l'administration un mémoire de réhabilitation contenant notamment les mesures de prévention des risques liés aux sols et aux eaux souterraines.

La méthodologie nationale vise à définir depuis 2007 les mesures de remise en état reprises dans un plan de gestion qui servent de base à l'élaboration des travaux de réhabilitation. Ainsi, les conclusions du plan de gestion sont utilisées en tant que de besoin par les services de l'Etat afin de prendre des Arrêtés Préfectoraux (AP) de remise en état des sites pollués.

L'évolution de la méthodologie en 2017 introduisant le plan de conception des travaux conduit à ce qu'un tel arrêté intervienne après la remise de ce document. En effet, l'objectif du plan de conception des travaux étant de valider et consolider un ou des scénarios de gestion, il est prématuré de prendre un AP encadrant les travaux dès le stade du plan de gestion, lorsqu'un plan de conception des travaux est nécessaire.

Dans un cadre général (y compris en dehors du cadre des ICPE), lorsque l'administration doit se positionner et prendre, si nécessaire, un arrêté encadrant les travaux, trois cas de figure sont envisageables :

1. à l'issue d'un plan de gestion lorsqu'il est conclusif quant au choix du scénario de gestion (cas où les éléments de dimensionnement de la solution envisagée sont connus - cf. § 3.3.1) ;
2. à l'issue d'un plan de conception des travaux lorsqu'il est intégré au plan de gestion et que le livrable du plan de gestion est conclusif quant au choix du scénario de gestion ;
3. à l'issue d'un plan de conception des travaux, lorsqu'il est réalisé à la suite d'un plan de gestion. Le livrable du plan de conception des travaux doit alors être conclusif quant au choix

du scénario de gestion. Conformément à la norme NF X 31-620-3, tous les éléments de mise à jour du plan de gestion doivent être intégrés au PCT afin de permettre à l'administration de se positionner.

Lorsque le plan de conception des travaux est dissocié du plan de gestion, le donneur d'ordre peut toujours, en cas de difficultés particulières (gestion des nuisances au moment des interventions de terrain, modalités de gestion d'effluents, etc.), solliciter l'administration à l'issue du plan de gestion et avant la réalisation du plan de conception des travaux. Cependant, **cette étape ne constitue pas une instruction du dossier en tant que telle, mais seulement une phase d'échanges et d'appropriation du contexte afin d'orienter les suites de l'étude.** Les discussions peuvent porter, plus particulièrement, sur les aspects liés à la caractérisation et à la délimitation des sources de pollution mais, en aucun cas, sur la validation des scénarios de gestion lorsqu'un plan de conception des travaux est nécessaire. **L'objectif est de ne pas multiplier les temps d'analyse des dossiers par une double instruction après le plan de gestion puis après le plan de conception des travaux.**

5 - Conclusion

Dans le cadre de la révision de la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués parue le 19 avril 2017, le plan de conception des travaux a été introduit afin d'améliorer les pratiques en recourant à l'ingénierie de dépollution pour mieux sécuriser les travaux de dépollution.

Les enjeux relatifs à l'analyse de la faisabilité technique de scénarios de gestion ont ainsi vocation à être davantage pris en compte et mieux définis dans les documents de référence (méthodologie nationale mais aussi dans la norme NF X 31-620-3).

Néanmoins, cette phase d'ingénierie s'articulant entre les études et les travaux, il devenait nécessaire de produire un document permettant de clarifier et faciliter l'utilisation de ce nouvel outil, notamment en articulation avec le plan de gestion.

Différents aspects propres au contenu et à la réalisation d'un plan de conception des travaux ont ainsi été précisés dans le présent document pour faciliter sa mise en œuvre et son appropriation par les différents acteurs du domaine des sites et sols pollués.

Annexe 1 – Principaux essais de faisabilité (en laboratoire et de terrain) susceptibles d’être mis en œuvre dans le domaine des sites et sols pollués (liste non exhaustive)

Annexe 1A – Essais de faisabilité pour les techniques de dépollution *in-situ*

Dénomination de la technique de dépollution	Codification Norme NF 31 620-4	Analyse de caractérisation préalable E1	Essai à réaliser pour vérifier la faisabilité du traitement E2 et E3 obligatoire / possible	Objectifs de l'essai de faisabilité obligatoire / possible	Traitement sur site des rejets associés	Paramètres d'exclusion du traitement	Paramètres limitants du traitement
Piège hydraulique	C312c	<u>Caractérisation du polluant</u> Nature, teneur, densité, présence de surnageant <u>Caractérisation du sol</u> Perméabilité, homogénéité <u>Caractérisation de la nappe</u> Piézométrie, teneur en oxygène et paramètres physico-chimique (pH, O ₂ dissous, température, conductivité)	<u>Essai de pompage</u>	E2 : - Mise en place <i>in-situ</i> d'un ensemble de puits pour <u>déterminer les paramètres hydrodynamiques</u> de l'aquifère E3 : - <u>Dimensionnement des ouvrages</u> à réaliser (nombre, équipement, principales caractéristiques de l'installation de traitement)	Traitement des polluants inorganiques et organiques dissous dans l'eau Traitement des rejets gazeux	Traitement exclu si : - Mauvaise connaissance des écoulements	Traitement non recommandé si : - Sol fin très limoneux et/ou argileux ou non homogène - Perméabilité < 10 ⁻⁵ m/s - Aquifère peu productif - Battement de la nappe important - Polluants hydrophobes - Pollution à une profondeur > 10-15 m
Confinement par couverture et étanchéification	C312a	<u>Caractérisation du polluant</u> Nature, teneur <u>Caractérisation du sol</u> Granulométrie, densité, teneur en eau <u>Caractérisation de la nappe</u> Piézométrie	<u>Essai de perméabilité de la barrière/percolation</u> <u>Essai de compatibilité chimique barrière / polluant</u>	E2 : - <u>Détermination de la barrière optimale</u> (matériau du site receveur) <u>pour isoler</u> les matériaux à confiner - Détermination de la compatibilité entre le matériau d'apport (barrière) et le polluant E3 : - <u>Dimensionnement du compactage</u> des ouvrages à réaliser en laboratoire à partir d'échantillon pris <i>in-situ</i> - Réalisation d'essai de vieillissement accéléré en laboratoire	Traitement des rejets gazeux uniquement dans le cas d'émanations gazeuses (production de gaz)	/	Traitement non recommandé si : - Polluant fortement lessivable - Pollution en zone saturée ou dans le battement de la nappe - Usage de la nappe non compatible
Confinement vertical	C312b	<u>Caractérisation du polluant</u> Nature, teneur, densité, présence de surnageant <u>Caractérisation du sol</u> Perméabilité, homogénéité <u>Caractérisation de la nappe</u> Piézométrie, teneur en oxygène et paramètres physico-chimique (pH, O ₂ , température, conductivité)	<u>Essai de compatibilité chimique barrière / polluant</u>	E2 : - Détermination de la compatibilité entre le matériau d'apport (barrière) et le polluant E3 : - Réalisation d'essai de vieillissement accéléré en laboratoire	Traitement des polluants inorganiques et organiques dissous dans l'eau de l'encaissant Traitement des rejets gazeux	Traitement exclu si : - Mauvaise connaissance des écoulements	Traitement non recommandé si : - Terrains fracturés et à double porosité
Solidification / stabilisation <i>in-situ</i>	C312d	<u>Caractérisation du polluant</u> Nature et forme chimique (par extraction séquentielle), réponse au pH et aux conditions d'oxydo-réduction (dispositif soxhlet), âge (bio-immobilisation) <u>Caractérisation du sol</u> Granulométrie, teneur en sels solubles, nature de la matrice, structure finale recherchée, caractérisation des communautés bactériennes (bio-immobilisation) <u>Caractérisation de la nappe</u> Piézométrie, pH, bilan ionique	<u>Essai de stabilisation physico-chimique</u> Essai de bio-immobilisation	E2 : - <u>Choix de la technique de stabilisation et test d'efficacité</u> en laboratoire - Réalisation d'essais en laboratoire pour <u>optimisation de la formulation</u> - Détermination par tests en laboratoire des conditions d'incubation les plus adaptées E3 : - <u>Réalisation d'essais de vieillissement accéléré</u> pour vérifier la pérenité du traitement - Vérification des résultats sur des essais pilotes en laboratoire (lysimètre) et <i>in-situ</i>	Sans objet	/	Traitement non recommandé si : - Sols non homogènes - Sols peu perméables - Faible macroporosité - Polluants susceptibles d'évoluer par voie biologique ou physicochimique - Pollution à une profondeur > 10-15 m - Transmissivité des terrains

Dénomination de la technique de dépollution	Codification Norme NF 31 620-4	Analyse de caractérisation préalable E1	Essai à réaliser pour vérifier la faisabilité du traitement E2 et E3 <u>obligatoire</u> / possible	Objectifs de l'essai de faisabilité <u>obligatoire</u> / possible	Traitement sur site des rejets associés	Paramètres d'exclusion du traitement	Paramètres limitants du traitement
Venting*	C311a	<u>Caractérisation du polluant</u> Nature, teneur, pression de vapeur saturante, densité, solubilité <u>Caractérisation du sol</u> Teneur en matière organique, teneur en argile, perméabilité, teneur en eau <u>Caractérisation de la nappe</u> Piézométrie	<u>Essai d'extraction des gaz du sol</u>	E2 : - Détermination de l'extractibilité des polluants d'un sol soumis à une dépression en analysant la phase gazeuse extraite par essai en laboratoire E3 : - <u>Réalisation d'essai pilote en laboratoire et <i>in-situ</i></u> et suivi des paramètres de contrôle pour évaluer les performances, valider la technique en conditions terrain , optimiser le procédé et dimensionner les ouvrages à mettre en place (nombre, équipement, principales caractéristiques de l'installation de traitement)	Traitement des rejets gazeux	Traitement exclu si : - Pression de vapeur saturante $P_v < 0.5 \text{ mm Hg}$ - Constante de Henry $H < 0.01 \text{ Pa.m}^3/\text{mol}$ à 20°C - Perméabilité à l'air $< 10^{-7} \text{ m/s}$	Traitement non recommandé si : - Sol fin très limoneux et/ou argileux - Teneurs en argile et en matière organique élevées - Sol fortement saturé en eau (>85%) - Pollution ancienne - Perméabilité à l'air $< 10^{-5} \text{ m/s}$ - Niveau de la nappe < 2-3 m
Extraction multi-phase (double ou triple)*	C311b	<u>Caractérisation du polluant</u> Nature, teneur,viscosité, densité, solubilité, épaisseur de surnageant <u>Caractérisation du sol</u> Perméabilité, granulométrie <u>Caractérisation de la nappe</u> Piézométrie, teneur en oxygène et paramètres physico-chimique (pH, O ₂ dissous, température, conductivité)	<u>Essai d'extraction multiphasique</u> <u>Baildown Test / test d'épuisement</u>	E2 : - <u>Réalisation d'essai pilote <i>in-situ</i></u> - <u>Estimation de la productivité</u> de récupération de polluant - <u>Estimation de la transmissivité</u> par suivi de reconstitution du surnageant E3 : <u>Dimensionnement des ouvrages</u> à réaliser (nombre, équipement, principales caractéristiques de l'installation de traitement)	Récupération des produits purs Traitement des polluants organiques dissous dans l'eau Traitement des rejets gazeux	Traitement exclu si : - Perméabilité $< 10^{-7} \text{ m/s}$ - Epaisseur surnageant < 1 cm - Viscosité dynamique > 30 cP - Transmissivité au surnageant $< 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$	Traitement non recommandé si : - Polluant très soluble ou très volatil - Epaisseur surnageant < 1 cm - Fortes variabilités spatio-temporelles de l'épaisseur de surnageant - Densité du NAPL très proche de 1 - Pollution ancienne - Teneur en matière organique élevée - Perméabilité $< 10^{-7} \text{ m/s}$ - Mauvaise connaissance des écoulements - Profondeur nappe > 7 m
Sparging (barbotage <i>in-situ</i>)*	C311c	<u>Caractérisation du polluant</u> Nature, teneur, pression de vapeur saturante, densité, solubilité <u>Caractérisation du sol</u> Teneur en matière organique, teneur en argile, perméabilité <u>Caractérisation de la nappe</u> Piézométrie, teneur en oxygène, paramètres physico-chimique (pH, O ₂ dissous, température, conductivité), bilan ionique	<u>Essai d'extraction des gaz du sol</u> <u>Essai d'injection d'air</u>	E2 : - Détermination de l'extractibilité des polluants d'un sol soumis à une dépression en analysant la phase gazeuse extraite par essai en laboratoire - Mise en place de piézairs/piézomètres <i>in-situ</i> pour <u>déterminer l'extractibilité des polluants en nappe</u> soumis à une injection d'air E3 : - <u>Réalisation d'essai pilote en laboratoire et <i>in-situ</i></u> et suivi des paramètres de contrôle pour évaluer les performances, valider la technique en conditions terrain - <u>Dimensionnement des ouvrages</u> à réaliser (nombre, équipement, installation de traitement)	Traitement des rejets gazeux	Traitement exclu si : - Constante de Henry $H < 200 \text{ Pa.m}^3/\text{mol}$ à 20°C - Perméabilité des sols $< 10^{-6} \text{ m/s}$	Traitement non recommandé si : - Sol fin très limoneux et/ou argileux - Teneurs en argile et en matière organique élevées - Sol fortement saturé en eau (>85%) - Sol très fracturé - Pollution ancienne - Présence de NAPL mobile (risque de migration) - Perméabilité à l'air $< 10^{-5} \text{ m/s}$ - Présence de certains éléments (Fe, Mg, CaCO ₃ ... entraînant une baisse de la perméabilité du sol) - Nappe de faible épaisseur (< 3m)
Pompage et traitement*	C311d	<u>Caractérisation du polluant</u> Nature, teneur, densité, présence/épaisseur de surnageant, solubilité <u>Caractérisation du sol</u> Perméabilité, homogénéité <u>Caractérisation de la nappe</u> Piézométrie, teneur en oxygène et paramètres physico-chimique (pH, O ₂ dissous, température, conductivité)	<u>Essai de pompage</u>	E2 : - Mise en place <i>in-situ</i> d'un ensemble de puits pour <u>déterminer les paramètres hydrodynamiques</u> de l'aquifère E3 : - <u>Dimensionnement des ouvrages</u> à réaliser (nombre, équipement, principales caractéristiques de l'installation de traitement)	Traitement des polluants inorganiques et organiques dissous dans l'eau Traitement des rejets gazeux	Traitement exclu si : - Polluants hydrophobes - Perméabilité $< 10^{-7} \text{ m/s}$	Traitement non recommandé si : - Sol fin très limoneux et/ou argileux ou non homogène - Sol très fracturé - Perméabilité $< 10^{-5} \text{ m/s}$ - Mauvaise connaissance des écoulements - Nappe de faible épaisseur
Pompage écrémage*	C311e	<u>Caractérisation du polluant</u> Nature, teneur, densité, épaisseur de surnageant, solubilité, viscosité <u>Caractérisation du sol</u> Perméabilité <u>Caractérisation de la nappe</u> Piézométrie, teneur en oxygène et paramètres physico-chimique (pH, O ₂ dissous, température, conductivité)	<u>Essai d'écémage</u> <u>Baildown Test / test d'épuisement</u>	E2 : - <u>Réalisation d'essai pilote <i>in-situ</i></u> - <u>Estimation de la productivité de NAPL</u> par prélèvement longue durée et donc de la faisabilité de récupération des polluants - <u>Estimation de la transmissivité</u> par suivi de reconstitution du surnageant E3 : - <u>Dimensionnement des ouvrages</u> à réaliser (nombre, équipement, principales caractéristiques de l'installation de traitement)	Récupération des produits purs Traitement des polluants inorganiques et organiques dissous dans l'eau Traitement des rejets gazeux	Traitement exclu si : - Perméabilité $< 10^{-7} \text{ m/s}$ - Epaisseur surnageant < 1 cm - Viscosité dynamique > 30 cP - Transmissivité au surnageant $< 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$	Traitement non recommandé si : - Fortes variabilités spatio-temporelles de l'épaisseur de NAPL - Epaisseur surnageant < 5 cm - Densité du NAPL très proche de 1 - Teneur en matière organique élevée - Perméabilité $< 10^{-5} \text{ m/s}$ - Mauvaise connaissance des écoulements

Dénomination de la technique de dépollution	Codification Norme NF 31 620-4	Analyse de caractérisation préalable E1	Essai à réaliser pour vérifier la faisabilité du traitement E2 et E3 obligatoire / possible	Objectifs de l'essai de faisabilité obligatoire / possible	Traitement sur site des rejets associés	Paramètres d'exclusion du traitement	Paramètres limitants du traitement
Lavage <i>in-situ</i>*	C313a (extraction par solvant)	<u>Caractérisation du polluant</u> Nature, teneur, âge, solubilité <u>Caractérisation du sol</u> Granulométrie, teneur en argiles, teneur en matière organique, perméabilité, homogénéité, teneur en eau, (caractérisation des communautés bactériennes) <u>Caractérisation de la nappe</u> Piézométrie, teneur en oxygène, paramètres physico-chimique (pH, O ₂ , température, conductivité), bilan ionique	<u>Essai de lavage</u> Essai de pompage Essai d'injection	E2 : - Recherche du meilleur extractant et optimisation des conditions d'extractions en laboratoire - Mise en place d'un ensemble de puits pour <u>déterminer les paramètres hydrodynamiques</u> de l'aquifère - Mise en place de piézajais/piézomètres <i>in-situ</i> pour déterminer l'extractabilité des polluants en nappe soumis à une injection d'air E3 : - <u>Vérification des résultats sur une échelle pilote <i>in-situ</i> et suivi des paramètres de contrôle</u> pour valider la technique en conditions de terrain - <u>Dimensionnement des ouvrages</u> à réaliser (nombre, équipement)	Traitement des polluants inorganiques et organiques dissous dans l'eau (Traitement des rejets gazeux le cas échéant)	Traitement exclu si : - Perméabilité < 10 ⁻⁷ m/s - Solubilité du polluant < 100 mg/L	Traitement non recommandé si : - Perméabilité < 10 ⁻⁶ m/s - Teneur en argile et limon > 20% - Teneur en carbonates élevée - Teneur en matière organique > 10% - Capacité d'échange cationique importante et surface spécifique du sol > 1m ² /kg - Polluants hydrophobes - Polluants fortement adsorbés - Coefficient de partage octanol/eau Kow du polluant inadéquat au solvant (Kow>1 pour l'eau et Kow faible pour des solvants organiques) - Hétérogénéité de l'aquifère - Présence d'élément pouvant interférer avec la solution de lavage - Mauvaise connaissance des écoulements
Oxydation / Réduction chimique <i>in-situ</i>*	C313b, C313c	<u>Caractérisation du polluant</u> Nature, âge (réduction) <u>Caractérisation du sol</u> pH, demande naturelle en oxygène, capacité de neutralisation acido-basique, granulométrie, composés naturels oxydables, homogénéité, perméabilité <u>Caractérisation de la nappe</u> pH, bilan ionique	<u>Essai d'oxydation/réduction</u>	E2 : - Réalisation en laboratoire d'essais d'oxydation/réduction pour <u>déterminer le couple oxydant/concentration</u> qui permet la meilleure dégradation du polluant E3 : - <u>Réalisation d'un essai <i>in-situ</i></u> et suivi des paramètres de contrôle pour valider la technique en conditions de terrain, optimiser le procédé et dimensionner les ouvrages à mettre en place (nombre, équipement, volume d'oxydant/réducteur à injecter)	Sans objet si dégradation correctement maîtrisée	Traitement exclu si : - Perméabilité < 10 ⁻⁷ m/s - Polluant non oxydable ou non réductible	Traitement non recommandé si : - Sols hétérogènes - Présence de métaux mobilisables si modifications géochimiques - Teneur en matière organique > 20% - Perméabilité < 10 ⁻⁵ m/s - Mauvaise connaissance des écoulements
Barrière perméable réactive (tranchée drainante ou porte filtrante)	C316a, C316b	<u>Caractérisation du polluant</u> Nature, teneur <u>Caractérisation du sol</u> Perméabilité, homogénéité, teneur en argiles, teneur en matière organique, granulométrie, caractérisation des communautés bactériennes (système porte) <u>Caractérisation de la nappe</u> Piézométrie	Essai de biodégradabilité Essai de bio-immobilisation Essai d'oxydation-réduction <u>Essai de compatibilité chimique barrière / polluant</u>	E2 : - Recherche en laboratoire d'une population microbienne présente ou extérieure au milieu pour dégrader le polluant par des tests au respiromètre - Définition en laboratoire des conditions optimales de dégradation du polluant par cette population et du type de traitement (bioventing, biotertre, landfarming, bioréacteur) - Réalisation en laboratoire d'essais d'oxydation/réduction pour déterminer le couple oxydant/concentration qui permet la meilleure dégradation du polluant - Détermination de la compatibilité entre le matériau d'apport (barrière) et le polluant E3 : - Vérification des résultats sur des essais pilotes en laboratoire (lysimètre) - Réalisation d'un essai <i>in-situ</i> et suivi des paramètres de contrôle pour valider la technique en conditions de terrain, optimiser le procédé et dimensionner les ouvrages à mettre en place (nombre, équipement, principales caractéristiques de la barrière perméable réactive) - Réalisation d'essai de vieillissement accéléré	Sans objet	Traitement exclu si : - Mauvaise connaissance des écoulements	Traitement non recommandé si : - Teneur en matière organique élevée - Fraction fine > 20% - Sol poreux - Sol hétérogène - Faible perméabilité - Gradient hydraulique faible - Capacité d'échange cationique importante

Dénomination de la technique de dépollution	Codification Norme NF 31 620-4	Analyse de caractérisation préalable E1	Essai à réaliser pour vérifier la faisabilité du traitement E2 et E3 <u>obligatoire</u> / possible	Objectifs de l'essai de faisabilité <u>obligatoire</u> / possible	Traitement sur site des rejets associés	Paramètres d'exclusion du traitement	Paramètres limitants du traitement
Phytoremédiation	C315d	<u>Caractérisation du polluant</u> Nature, teneur, disponibilité, âge <u>Caractérisation du sol</u> Fertilité, aptitude à être le support d'un couvert végétal, granulométrie	<u>Essai de phyto-rémediation / phyto-stabilisation</u>	E2 : - <u>Evaluation de la capacité du sol à être un support de culture et choix de la technique</u> (extraction ou stabilisation) - Réalisation de traitements agronomiques en laboratoire pour <u>optimisation du procédé</u> E3 : - Réalisation d'essai lysimétrique en laboratoire pour <u>évaluation des performances</u>	Sans objet	Traitement exclu si : - pH<4 et pH>9	Technique adaptée avec : - Avec des polluants métalliques et radioéléments seulement - Sols de subsurface silteux à sableux pour les traitements <i>in-situ</i> - Profondeur de 50 cm ou 80 cm max - Répartition homogène des polluants Traitement non recommandé si : - pH extrême non naturel (limitation de l'activité biologique du sol ; pH<5 et pH>8) - Présence d'élément phytotoxique (Cu par exemple) - Métaux à extraire non phytodisponibles (pour la phytoextraction)
Biodégradation optimisée (biodégradation dynamisée)*	C315a	<u>Caractérisation du polluant</u> Nature, teneur, âge <u>Caractérisation du sol</u> Granulométrie, texture du sol, teneur en eau, pH, salinité, caractérisation des communautés bactériennes (inclus dans l'essai d'orientation), perméabilité <u>Caractérisation de la nappe</u> Piézométrie, bilan ionique	<u>Essai de biodégradabilité</u> Essai d'injection Essai de désorption thermique	E2 : - <u>Recherche en laboratoire d'une population microbienne</u> présente ou extérieure au milieu pour dégrader le polluant par des tests au respiromètre - <u>Définition des conditions optimales</u> de dégradation du polluant par cette population et du type de traitement (bioventing, biotertre, landfarming, bioréacteur) - Mise en place de piézairs/piézomètres in-situ pour déterminer l'extractibilité des polluants en nappe soumis à une injection d'air - Vérification de la faisabilité avec un essai de désorption thermique en condition pilote (si désorption thermique) E3 : - <u>Vérification des résultats</u> sur une échelle pilote en laboratoire et <i>in-situ</i> avec suivi des paramètres de contrôle - <u>Dimensionnement des ouvrages</u> à réaliser (nombre, équipement, principales caractéristiques de l'installation)	Sans objet	Traitement exclu si : - Polluant non biodégradable - Perméabilité des sols < 10 ⁻⁸ m/s - Présence de NAPL mobile	Traitement non recommandé si : - Absence d'activité microbiologique <i>in-situ</i> - Polluant peu biodisponible - Pollution avec beaucoup de polluants - Pollution ancienne ou peu mobile - Perméabilité à l'air < 10 ⁻⁵ m/s - Teneur en argile > 40% - Teneur en matières organiques > 20 g/kg - Teneur en azote <20 mg/kg - Teneur en phosphore < 3 mg/kg - Teneur en oxygène dissous faible - Teneur en fer et manganèse importante (risque de colmatage) - Battement de la nappe important - pH basique ou acide (<6 ou >8)
Bioventing *	C315b	<u>Caractérisation du polluant</u> Nature, teneur, pression de vapeur saturante, densité, solubilité, âge <u>Caractérisation du sol</u> Granulométrie, texture du sol, teneurs en eau, en matière organique et en argile, pH, salinité, caractérisation des communautés bactériennes (inclus dans l'essai d'orientation), perméabilité <u>Caractérisation de la nappe</u> Piézométrie, bilan ionique	<u>Essai de biodégradabilité</u> <u>Essai d'extraction des gaz du sol</u>	E2 : - <u>Recherche en laboratoire d'une population microbienne</u> présente ou extérieure au milieu pour dégrader le polluant par des tests au respiromètre - <u>Définition des conditions optimales</u> de dégradation du polluant par cette population et du type de traitement (bioventing, biotertre, landfarming, bioréacteur) - Détermination de l'extractibilité des polluants d'un sol soumis à une dépression en analysant la phase gazeuse extraite par essai en laboratoire E3 : - <u>Vérification des résultats</u> et évaluation des performances sur une échelle pilote en laboratoire et <i>in-situ</i> - <u>Dimensionnement des ouvrages</u> à réaliser (nombre, équipement, installation de traitement)	Traitement des rejets gazeux	Traitement exclu si : - Pression de vapeur saturante Pv < 0.5 mm Hg - Constante de Henry H < 0.01 Pa.m3/mol à 20°C - Polluant non biodégradable - Perméabilité à l'air < 10 ⁻⁷ m/s	Traitement non recommandé si : - Absence d'activité microbiologique <i>in-situ</i> - Sol fin très limoneux et/ou argileux - Teneurs en argile et en matière organique élevées - Sol fortement saturé en eau (>85%) - pH extrême non naturel (limitation de l'activité biologique du sol) - Pollution ancienne - Perméabilité à l'air < 10 ⁻⁵ m/s - Niveau de la nappe < 2-3 m

Dénomination de la technique de dépollution	Codification Norme NF 31 620-4	Analyse de caractérisation préalable E1	Essai à réaliser pour vérifier la faisabilité du traitement E2 et E3 obligatoire / possible	Objectifs de l'essai de faisabilité obligatoire / possible	Traitement sur site des rejets associés	Paramètres d'exclusion du traitement	Paramètres limitants du traitement
Biosparging*	C315c	<u>Caractérisation du polluant</u> Nature, teneur, pression de vapeur saturante, densité, solubilité, âge <u>Caractérisation du sol</u> Granulométrie, texture du sol, teneur en eau, en matière organique et en argile, pH, salinité, caractérisation des communautés bactériennes (inclus dans l'essai d'orientation), perméabilité, homogénéité <u>Caractérisation de la nappe</u> Piézométrie, bilan ionique, teneur en oxygène, paramètres physico-chimique (pH, O₂ dissous, température, conductivité)	<u>Essai d'extraction des gaz du sol</u> <u>Essai de biodégradabilité</u> <u>Essai d'injection</u>	E2 : - <u>Détermination de l'extractibilité des polluants</u> d'un sol soumis à une dépression en analysant la phase gazeuse extraite par essai en laboratoire - Recherche en laboratoire d'une population microbienne présente ou extérieure au milieu pour dégrader le polluant par des tests au respiromètre - Définition des conditions optimales de dégradation du polluant par cette population et du type de traitement (bioventing, bioterte, landfarming, bioréacteur) - Mise en place de piézajais/piézomètres in-situ pour déterminer l'extractibilité des polluants en nappe soumis à une injection d'air E3 : - <u>Réalisation d'essai pilote</u> en laboratoire et <i>in-situ</i> pour vérifier les résultats et évaluer les performances - Dimensionnement des ouvrages à réaliser (nombre, équipement, installation de traitement)	Traitement des rejets gazeux	Traitement exclu si : - Constante de Henry H < 200 Pa.m3/mol à 20°C - Polluant non biodégradable - Perméabilité des sols < 10 ⁻⁶ m/s	Traitement non recommandé si : - Absence d'activité microbiologique <i>in-situ</i> - Sol fin très limoneux et/ou argileux - Sol fortement saturé en eau (>85%) - Sol très fracturé - Teneurs en argile et en matière organique élevées - pH extrême non naturel (limitation de l'activité biologique du sol) - Salinité extrême (limitation de l'activité biologique du sol) - Pollution ancienne - Présence de NAPL mobile (risque de migration) - Perméabilité à l'air < 10 ⁻⁵ m/s - Présence de certains éléments (Fe, Mg, CaCO ₃ ... entraînant une baisse de la perméabilité du sol) - Nappe de faible épaisseur (< 3m)
Désorption thermique <i>in-situ</i> *	C314a	<u>Caractérisation du polluant</u> Nature, teneur, pression de vapeur saturante, point d'ébullition, densité, solubilité <u>Caractérisation du sol</u> Granulométrie, teneur en eau, teneur en matière organique, teneur en argile, bilan ionique, perméabilité <u>Caractérisation de la nappe</u> Piézométrie	<u>Essai de désorption thermique</u> Essai d'extraction des gaz du sol Essai d'extraction multiphasique	E2 : - Vérification de la faisabilité avec un essai de désorption thermique en condition pilote - Détermination de l'extractibilité des polluants d'un sol soumis à une dépression en analysant la phase gazeuse extraite par essai en laboratoire - Estimation de la productivité de récupération de polluant E3 : - <u>Réalisation d'essai pilote</u> en laboratoire et <i>in-situ</i> avec suivi des paramètres de contrôle pour évaluer les performances - Dimensionnement des ouvrages à réaliser (nombre, équipement, principales caractéristiques de l'installation de traitement)	Traitement des rejets gazeux	Traitement exclu si : - Température d'ébullition du polluant > 500°C - Pression de vapeur saturante Pv < 10 mm Hg à 20°C	Traitement non recommandé si : - Pollution étendue - Sol hétérogène - Sol fin très limoneux et/ou argileux - Présence de soufre, d'azote, de chlore, de fluor ou de brome en quantité élevée - Teneur en eau élevée (>85%) - Teneur en matière organique élevée (>5%) - Perméabilité à l'air < 10 ⁻⁵ m/s - Constante de Henry < 0,01 Pa.m3/mol à 20 °C - Vitesse d'écoulement de la nappe élevée
* Technique détaillée dans le guide Estrapol 2019							
Type de traitement : Biologique, Chimique, Physique (piégeage ou évacuation de la pollution) , Thermique Le traitement par barrière perméable réactive peut combiner plusieurs types de traitement (biologique, chimique, thermique, physique)							

Annexe 1B – Essais de faisabilité pour les techniques de dépollution sur site

Dénomination de la technique de dépollution	Codification Norme NF 31 620-4	Analyse de caractérisation préalable E1	Essai à réaliser pour vérifier la faisabilité du traitement E2 et E3 <u>obligatoire</u> / possible	Objectifs de l'essai de faisabilité	Traitement sur site des rejets associés	Paramètres d'exclusion du traitement	Paramètres limitants du traitement
Bioréacteur*	C325a	<u>Caractérisation du polluant</u> Nature, teneur, âge <u>Caractérisation du sol</u> Granulométrie, texture du sol, teneur en eau, pH, salinité, caractérisation des communautés bactériennes, teneur en argiles, teneur en matière organique, perméabilité, homogénéité, demande naturelle en oxygène, composés naturels oxydables	<u>Essai de biodégradabilité</u> Essai de lavage Essai d'oxydation/réduction	E2 : - Recherche en laboratoire d'une population microbienne présente ou extérieure au milieu pour dégrader le polluant par des tests au respiromètre - Définition des conditions optimales de dégradation du polluant par cette population et du type de traitement (bioventing, biotertre, landfarming, bioréacteur) - Recherche du meilleur extractant et optimisation des conditions d'extractions en laboratoire - Réalisation en laboratoire d'essais d'oxydation/réduction pour déterminer le couple oxydant/concentration qui permet la meilleure dégradation du polluant E3 : - <u>Vérification des résultats sur une échelle pilote en laboratoire</u> et suivi des paramètres de contrôles pour valider la technique en conditions de terrain, optimiser le procédé et dimensionner les ouvrages à mettre en place (nombre, équipement, installation de traitement)	Elimination des polluants inorganiques et organiques dissous dans l'eau Traitement des rejets gazeux	Traitement exclu si : - Granulométrie > 4-5 mm - Polluant non biodégradable - Teneur en métaux/métalloïdes élevée - Absence d'activité microbiologique <i>in-situ</i>	Traitement non recommandé si : - pH<4.5 ou pH>8.8 - Teneur en eau élevée - Teneurs en argile ou en matières organiques élevées - Polluants fortement adsorbés - Présence d'élément pouvant interférer avec la solution de lavage - Risque sanitaire lié au déplacement de la pollution
Biotertre*	C325b	<u>Caractérisation du polluant</u> Nature, teneur, nature des liaisons sol-polluant inorganique (par extraction séquentielle), spéciation de la matrice polluée (par caractérisation minéralogique : diffraction rayons X ou microsonde électronique ou microscope MEB), remobilisation des polluants dans différentes conditions chimiques, âge <u>Caractérisation du sol</u> Granulométrie, texture du sol, teneur en eau, teneurs en argiles et en matière organique, pH, salinité, perméabilité, caractérisation des communautés bactériennes (essai au respiromètre en condition normales et en conditions abiotiques)	<u>Essai de biodégradabilité</u> <u>Essai de biolixiviation</u> Essai d'injection et d'extraction des gaz	E2 : - <u>Recherche en laboratoire d'une population microbienne</u> présente ou extérieure au milieu pour dégrader le polluant par des tests au respiromètre - <u>Définition des conditions optimales</u> de dégradation du polluant par cette population et du type de traitement (bioventing, biotertre, landfarming, bioréacteur) - Réalisation en laboratoire des essais de biolixiviation pour vérifier la faisabilité du processus et définir les conditions optimales - Détermination de l'extractibilité des polluants d'un sol soumis à une dépression en analysant la phase gazeuse extraite par essai en laboratoire - Mise en place de piézairs/piézomètres in-situ pour déterminer l'extractibilité des polluants en nappe soumis à une injection d'air E3 : - <u>Vérification des résultats et l'évaluation des performances sur une échelle pilote en laboratoire</u> - <u>Dimensionnement des ouvrages</u> à réaliser (nombre, équipement, installation de traitement)	Elimination des polluants inorganiques et organiques dissous dans l'eau Traitement des rejets gazeux	Traitement exclu si : - Polluant non biodégradable - Perméabilité des sols < 10 ⁻⁸ m/s - Présence de NAPL mobile	Traitement non recommandé si : - Absence d'activité microbiologique <i>in-situ</i> - Pollution ancienne ou peu mobile - Sol hétérogène - Perméabilité < 10 ⁻⁷ m/s - Fraction particules fines élevée - Teneur en argile >20% - Teneur en matière organique élevée - Teneur en carbonates > 40% - Teneur en eau faible ou élevée (<40% ou >60%) - pH extrême (<4 ou > 6) - Températures faibles - Risque sanitaire lié au déplacement de la pollution
Landfarming*	C325d	<u>Caractérisation du polluant</u> Nature, teneur, âge <u>Caractérisation du sol</u> Granulométrie, texture du sol, teneur en eau, teneurs en argiles et en matière organique, pH, salinité, caractérisation des communautés bactériennes	<u>Essai de biodégradabilité</u> <u>Essai de biolixiviation</u>	E2 : - <u>Recherche en laboratoire d'une population microbienne</u> présente ou extérieure au milieu pour dégrader le polluant par des tests au respiromètre - <u>Définition des conditions optimales</u> de dégradation du polluant par cette population et du type de traitement (bioventing, biotertre, landfarming, bioréacteur) - Réalisation en laboratoire des essais de biolixiviation pour vérifier la faisabilité du processus et définir les conditions optimales E3 : - <u>Vérification des résultats et évaluation des performances sur une échelle pilote en laboratoire et in-situ</u>	Sans objet pour des polluants non volatils Traitement des rejets gazeux	Traitement exclu si : - Granulométrie > 60 mm - Polluant non biodégradable - Teneurs en métaux/métalloïdes élevées	Traitement non recommandé si : - Fraction particules fines élevée - Teneurs en argiles et matière organique élevées - pH extrême (<4 ou > 6) - Températures faibles - Risque sanitaire lié au déplacement de la pollution

Dénomination de la technique de dépollution	Codification Norme NF 31 620-4	Analyse de caractérisation préalable E1	Essai à réaliser pour vérifier la faisabilité du traitement E2 et E3 obligatoire / possible	Objectifs de l'essai de faisabilité	Traitement sur site des rejets associés	Paramètres d'exclusion du traitement	Paramètres limitants du traitement
Tri granulométrique*	<u>Caractérisation du polluant</u> Nature <u>Caractérisation du bâtiment</u> Teneur en polluant, état physique de la dalle, présence de vide sous dalle, type de sol présent sous la dalle	<u>Caractérisation du polluant</u> Nature	<u>Essai de granulométrie</u>	E2 : - <u>Détermination des fractions granulométriques</u> du sol E3 : - <u>Evaluation de l'intérêt d'étapes de tris</u> basées sur ces caractéristiques afin de mieux optimiser la gestion de terres polluées et/ou de déchets avec des essais <i>in-situ</i>	Traitement des rejets gazeux	Traitement exclu si : - Teneur en fines inférieures à 63 µm > 30% - Pollution gazeuse (pression de vapeur saturante > 10 mmHg à 20°C) ou dissoute	Traitement non recommandé si : - Polluant soluble (pour séparation sous eau) - Fraction grossière valorisable < 20% - Sol poreux - Sol hétérogène - Capacité d'échange cationique importante - Risque sanitaire lié au déplacement de la pollution
Encapsulation sur site	C322a	<u>Caractérisation du polluant</u> Nature, teneur <u>Caractérisation du sol</u> Granulométrie, densité, teneur en eau <u>Caractérisation de la nappe</u> Piézométrie	<u>Essai de perméabilité de la barrière/percolation</u> <u>Essai de compatibilité chimique barrière / polluant</u>	E2 : - <u>Détermination de la barrière optimale</u> (matériau du site receveur) pour isoler les matériaux à confiner - Détermination de la compatibilité entre le matériau d'apport (barrière) et le polluant E3 : - <u>Dimensionnement du compactage</u> des ouvrages à réaliser en laboratoire à partir d'échantillon pris <i>in-situ</i> - Réalisation d'essai de vieillissement accéléré en laboratoire pour vérifier la compatibilité sur le long terme entre le matériau d'apport et le polluant	Traitement des rejets aqueux Traitement des rejets gazeux	/	Traitement non recommandé si : - Pollution aux COHV (risque de perméation) - Risque sanitaire lié au déplacement de la pollution - Teneur en eau élevée
Lavage à l'eau sur site	C321c	<u>Caractérisation du polluant</u> Nature, teneur, âge <u>Caractérisation du sol</u> Granulométrie, teneur en argiles, teneur en matière organique, perméabilité, demande naturelle en oxygène, composés naturels oxydables, teneur en eau, homogénéité <u>Caractérisation de la nappe</u> Etude hydrogéologique	<u>Essai de lavage</u> Essai d'oxydation/réduction	E2 : - Recherche du meilleur extractant et optimisation des conditions d'extractions en laboratoire - Réalisation en laboratoire d'essais d'oxydation/réduction pour déterminer le couple oxydant/concentration qui permet la meilleure dégradation du polluant E3 : - <u>Vérification des résultats sur une échelle pilote in-situ avec</u> suivi des paramètres de contrôles - <u>Dimensionnement des ouvrages</u> à mettre en place (nombre, équipement, principales caractéristiques de l'installation de traitement)	Traitement des rejets aqueux Traitement des rejets gazeux	Traitement exclu si : - Solubilité du polluant < 100 mg/L	Traitement non recommandé si : - Fraction fines > 20% - Sol poreux - Sol hétérogène - Capacité d'échange cationique importante - Polluants fortement adsorbés - Coefficient de partage octanol/eau Kow du polluant inadéquat au solvant (Kow>1 pour l'eau et Kow faible pour des solvants organiques) - Présence d'élément pouvant interférer avec la solution de lavage - Risque sanitaire lié au déplacement de la pollution
Solidification / stabilisation sur site*	C322b	<u>Caractérisation du polluant</u> Nature et forme chimique (par extraction séquentielle), réponse au pH et aux conditions d'oxydo-réduction (dispositif soxhlet), âge (bio-immobilisation) <u>Caractérisation du sol</u> Granulométrie, teneur en sels solubles, nature de la matrice, structure finale recherchée, caractérisation des communautés bactériennes (bio-immobilisation) <u>Caractérisation de la nappe</u> Piézométrie, pH, bilan ionique	<u>Essai de stabilisation physico-chimique</u> <u>Essai de compatibilité chimique barrière / polluant</u> Essai de bio-immobilisation	E2 : - <u>Choix de la technique de stabilisation et test d'efficacité</u> en laboratoire - Réalisation d'essais en laboratoire pour <u>optimisation de la formulation</u> - Détermination de la compatibilité entre le matériau d'apport (barrière) et le polluant - Détermination par tests en laboratoire des conditions d'incubation les plus adaptées E3 : - <u>Réalisation d'essai de vieillissement accéléré</u> - Vérification des résultats sur des essais pilotes en laboratoire (lysimètre) avec suivi des paramètres de contrôle	Elimination des polluants inorganiques et organiques dissous dans l'eau Traitement des rejets gazeux	Traitement exclu si : - Pression de vapeur saturante > 10 mmHg à 20°C	Traitement non recommandé si : - Sols non homogènes - Teneurs en sels solubles (chlorures, sulfates) élevée - Teneur en matière organique > 3% - Teneur en argile élevée (VBS >6) - Polluants susceptibles d'évoluer par voie biologique ou physico-chimique - Pollution à une profondeur > 5 m (excavation) - Risque sanitaire lié au déplacement de la pollution

Dénomination de la technique de dépollution	Codification Norme NF 31 620-4	Analyse de caractérisation préalable E1	Essai à réaliser pour vérifier la faisabilité du traitement E2 et E3 obligatoire / possible	Objectifs de l'essai de faisabilité	Traitement sur site des rejets associés	Paramètres d'exclusion du traitement	Paramètres limitants du traitement
Compostage*	C325c	Caractérisation du polluant Nature, teneur, âge <u>Caractérisation du sol</u> Granulométrie, texture du sol, teneur en eau, teneurs en argiles et en matière organique, pH, salinité, caractérisation des communautés bactériennes	<u>Essai de biodégradabilité</u>	E2 : - <u>Recherche en laboratoire d'une population microbienne</u> présente ou extérieure au milieu pour dégrader le polluant par des tests au respiromètre - <u>Définition des conditions optimales</u> de dégradation du polluant par cette population et du type de traitement (bioventing, biotertre, landfarming, bioréacteur) E3 : - <u>Vérification des résultats sur une échelle pilote en laboratoire et <i>in-situ</i> avec suivi des paramètres de contrôle</u>	Elimination des polluants inorganiques et organiques dissous dans l'eau Traitement des rejets gazeux	Traitement exclu si : - Granulométrie > 60 mm - Polluant non biodégradable - Teneur en métaux/métalloïdes élevée	Traitement non recommandé si : - Fraction particules fines élevée - Teneurs en argiles et matière organique élevées - pH extrême (<4 ou > 6) - Températures faibles - Risque sanitaire lié au déplacement de la pollution
Désorption thermique sur site	C324b	Caractérisation du polluant Nature, teneur <u>Caractérisation du sol</u> Teneur en matière organique, granulométrie	<u>Essai de désorption thermique sur site</u>	E2 : - <u>Détermination du couple température/ temps de séjour optimal</u> avec un essai de désorption thermique en laboratoire E3 : - Vérification de la faisabilité avec un essai en laboratoire de désorption thermique en condition pilote en réacteur piston	Traitement des rejets gazeux	Traitement exclu si : - Granulométrie > 5cm	Traitement non recommandé si : - Perméabilité < 10 ⁻⁶ m/s - Teneur en argile et limon >20% - Teneur en carbonates élevée - Teneur en matière organique > 10% - Capacité d'échange cationique importante et surface spécifique du sol > 1m ² /kg - Polluants hydrophobes - Polluants fortement adsorbés - Coefficient de partage octanol/eau Kow du polluant inadéquat au solvant (Kow>1 pour l'eau et Kow faible pour des solvants organiques) - Hétérogénéité de l'aquifère - Présence d'élément pouvant interférer avec la solution de lavage - Mauvaise connaissance des écoulements
* Technique détaillée dans le guide Estrapol 2019							
Type de traitement : Biologique , Physique (piégeage ou évacuation de la pollution) , Thermique							

Annexe 1C – Essais de faisabilité pour les mesures constructives sur site

Dénomination de la mesure constructive	Analyse de caractérisation préalable E1	Essai à réaliser pour vérifier la faisabilité du traitement E2 et E3 <u>obligatoire</u> / possible	Objectifs de l'essai de faisabilité	Traitement sur site des rejets associés	Paramètres d'exclusion du traitement	Paramètres limitants du traitement
Aspiration sous dalle*	<u>Caractérisation du polluant</u> Nature <u>Caractérisation du bâtiment</u> Teneur en polluant, état physique de la dalle, présence de vide sous dalle, type de sol présent sous la dalle	<u>Essai de dépressurisation</u>	E2 : - <u>Détermination de l'appareil d'extraction et vérification de l'extractibilité des polluants sous la dalle</u> - Détermination des niveaux sonores engendrés E3 : - <u>Détermination du rayon d'influence et des dépressions créées selon le débit d'extraction</u> - Détermination du budget annuel (fonctionnement, maintenance, entretien et suivi) et validation avec le projet	Traitement des rejets gazeux	/	Traitement non recommandé si : - Perméabilité à l'air faible entraînant une dépression inférieure à 4 ou supérieure à 10 Pa sous la dalle - Sol très hétérogène
* Mesure détaillée dans le "Guide relatif aux mesures constructives utilisables dans le domaine des SSP" (BRGM, RP-63675-FR, 2014)						
Type de traitement : Physique						

Annexe 2 – Déroulement d'un cas pratique

PRÉAMBULE

L'exemple traité ci-dessus décrit la démarche générale déployée dans le cadre de la réalisation d'un plan de conception des travaux sur un site complexe. Néanmoins, le même type de démarche peut être reproduite sur un site de moindre importance en adaptant le volume des essais à mettre en œuvre au regard du contexte rencontré (proportionnalité des essais aux enjeux associés aux travaux).

I) INTRODUCTION

a. Contexte général

Dans le cadre de la cessation d'activité d'un site industriel pétrolier de plus de 90 ha, la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués, et notamment la réalisation du Plan de Conception de Travaux (PCT), a été mise en application. L'exemple ci-après détaille cette mise en application du PCT sur une zone spécifique du site.

Le site a stoppé son activité en 2016 et est entré dans une phase de cessation d'activité incluant la déconstruction et la dépollution. Dans ce contexte, un plan de gestion a été élaboré. Ce plan de gestion a évolué de façon itérative tout au long du processus afin de prendre en compte les informations recueillies et notamment celles concernant la faisabilité et le dimensionnement des différentes techniques de dépollution. **Dans cet exemple, le PCT fait donc partie intégrante du plan de gestion.**

Ces phases successives d'évolution du plan de gestion ne sont pas encadrées par un Arrêté Préfectoral de dépollution, en effet il est prématuré de fixer les objectifs de dépollution avant la finalisation du PCT.

Une première étude avait été réalisée au droit du site en 2009. Celle-ci avait notamment pour but de mieux appréhender les solutions de gestion susceptibles d'être mises en œuvre sur la base de plusieurs scénarios et les coûts associés. Cette étude a mis en évidence différents impacts sur le site, et particulièrement sur la zone dite des « produits blancs » (produits volatils correspondants à de l'essence, du diesel, ...). Cet exemple se focalise sur cette zone en particulier.

Dans le cadre de la cessation d'activité, cette zone a été recaractérisée en 2017. Pour ce faire, des sondages ont été réalisés selon un maillage de A à V et de 1 à 10. Cette caractérisation complémentaire a permis de préciser la lithologie au droit de la zone ainsi que les différents impacts identifiés lors du diagnostic initial. **Elle a également permis de récolter des informations de base pour préciser les solutions de gestion possibles telles que la granulométrie ou la teneur en COT des sols.**

Elle correspond à l'étape de faisabilité E1 correspondant aux analyses de caractérisation préalables.

b. Éléments de contextes géologiques et hydrogéologiques

La lithologie de la zone est homogène et est constituée de haut en bas :

- de remblais sableux parfois graveleux ;
- d'une couche de limons rencontrée sur la quasi-totalité des sondages entre 3 et 4 m de profondeur et sur une épaisseur variant de 0,1 à 1,0 m ;
- des sables au-delà.

La couche de limons sépare donc les remblais sableux superficiels des sables sous-jacents sur l'ensemble de la zone d'étude. La présence de cette interface limoneuse est confirmée par les différences des niveaux piézométriques respectivement mesurés dans les remblais (niveau d'eau moyen mesuré entre -1,5 et -2,0 m sous le TN) et dans les sables (niveau d'eau moyen mesuré entre -2,5 et -3,5 m sous le TN), ces deux aquifères communiquant à faible vitesse à travers la couche de limons.

Avant son aménagement, le site était un marécage : les eaux de surface étaient bloquées par les limons et on retrouve la signature de l'ancien marécage sous la forme des fortes concentrations en matières organiques décomposées à l'interface des limons et des remblais.

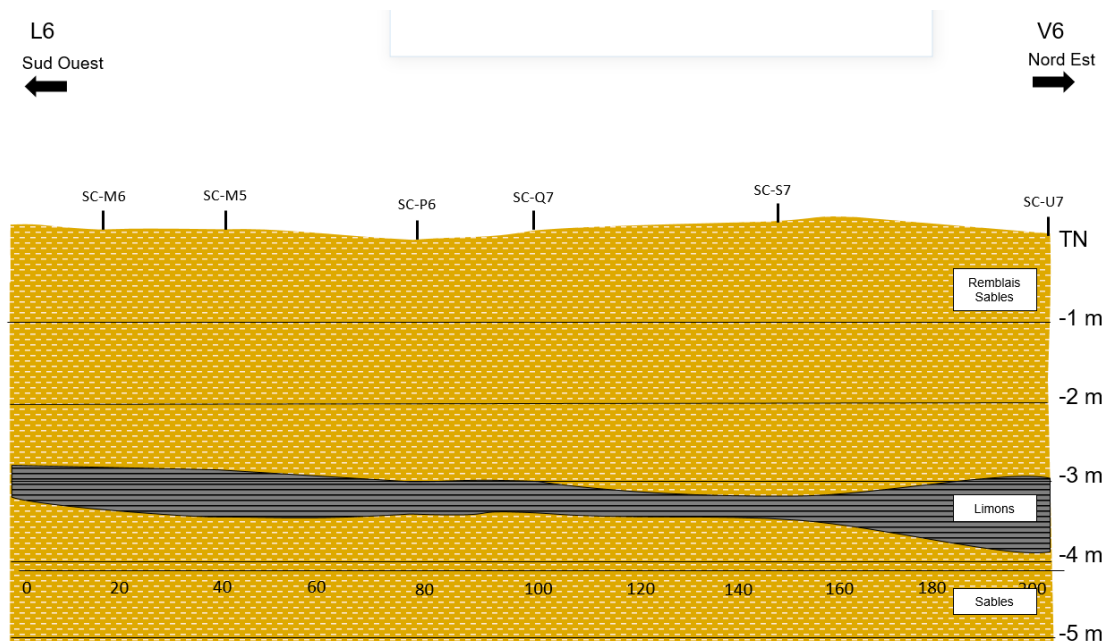


Figure 1: Coupe lithologique au droit de la zone avec présence de limons

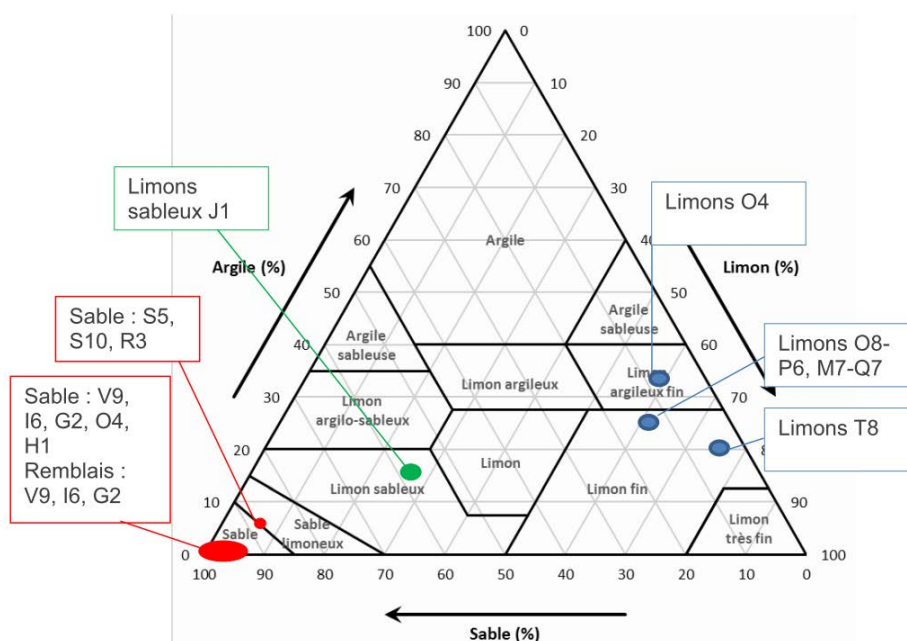


Figure 2: Répartition des granulométries mesurées sur les différents échantillons prélevés selon le schéma du triangle des textures

c. Résultats des diagnostics réalisés

Pour les sols, les diagnostics réalisés ont montré dans la zone des « produits blancs » la présence d'hydrocarbures C₅-C₁₆ principalement dans les remblais sableux de 0,5 à environ 2,5 m de profondeur. Plus en profondeur, notamment sous la couche de limons, les impacts sont plus localisés et apparaissent ponctuels. L'origine de ces impacts plus en profondeur est incertaine mais elle pourrait résulter de conditions par le passé lorsque la nappe était plus profonde, avant la modification du contexte hydrogéologique par la construction de la dérivation d'un canal dans la partie nord du site.

Des composés aromatiques volatils (principalement des xylènes et des triméthylbenzènes et dans une moindre proportion d'éthylbenzène) ont été identifiés conjointement à la présence des hydrocarbures C₅-C₁₆. Les Hydrocarbures C₅-C₁₆ constituent toutefois le paramètre traceur des impacts constatés dans la zone.

	Moyenne (mg/kg MS)	Minimum (mg/kg MS)	Maximum (mg/kg MS)	Centile 80 (mg/kg MS)	Centile 90 (mg/kg MS)
Secteur 1C-Nord	3 463	0	24 300	6 750	10 148
Secteur 1C-Sud	2 650	0	20 570	5 530	7 710
Secteur 1B	1 654	0	14 200	3 366	4 632

Tableau 1: Synthèse des données statistiques pour les hydrocarbures C₅-C₁₆

Pour les eaux souterraines, en premier lieu, des piézomètres spécifiques à chacun des aquifères (piézomètres courts pour les remblais et longs pour les sables) ont été installés et ont révélé l'absence de phase pure d'hydrocarbure. En revanche, les analyses des eaux souterraines ont montré, comme pour les sols, la présence d'hydrocarbures C₅-C₁₆ ainsi que des composés aromatiques volatils (principalement des xylènes et triméthylbenzènes). La présence de composés aromatiques volatils en comparaison aux concentrations en hydrocarbures C₅-C₁₆ est plus significative dans les eaux souterraines que dans les sols ; ce constat résulte de la plus grande solubilité des hydrocarbures aromatiques en comparaison aux hydrocarbures aliphatiques.

Les concentrations dans les piézomètres courts sont plus élevées d'un facteur 3 à 5 que dans les piézomètres longs.

paramètre	Unité	Moyenne	Min	Max
Hydrocarbures C5-C16	µg/l	4884.00	2910.00	6310.00

Tableau 2 : Synthèse des données statistiques pour les hydrocarbures C₅-C₁₆ – Piézomètres courts

paramètre	Unité	Moyenne	Min	Max
Hydrocarbures C5-C16	µg/l	1746.50	239.00	5110.00

Tableau 3 : Synthèse des données statistiques pour les hydrocarbures C₅-C₁₆ – Piézomètres longs

II) Programme du plan de conception des travaux

a. Présentation et mise en œuvre de la première série d'essais

Avec les informations obtenues grâce à la caractérisation complémentaire de 2017, les possibilités de gestion identifiées en 2009 ont été retravaillées. Au regard du contexte, un bilan coût / avantage a permis de sélectionner les techniques *in situ* suivantes (dans l'ordre décroissant d'intérêt) :

- (bio)Sparging / (bio)Venting ;
- Extraction Sous Vide (ESV) ;
- Pompage / Traitement (P&T).

Les solutions à base d'excavation n'ont pas été retenues à cause de deux contraintes majeures que sont la gestion du risque pyrotechnique (le site a été abondamment bombardé dans le passé) et la difficulté d'excaver sous nappe dans des sables bouillants.

À l'issue de ce premier bilan coût-avantage, la technique du (bio)Sparging / (bio)Venting est donc la solution préférentiellement identifiée pour le traitement de la zone. Néanmoins, il existe une incertitude sur la perméabilité à l'air de la couche de limons décimétriques présente sur la zone. Pour permettre de valider la faisabilité de la technique et obtenir un premier dimensionnement, il a été décidé de conduire des essais de faisabilité de court durée (quelques jours) pour mieux tester en conditions réelles les solutions de (bio)Sparging / (bio)Venting, mais également d'ESV et P&T et ainsi affiner le bilan coût avantage du plan de gestion. **Compte tenu des techniques visées (*in-situ*), il a été privilégié la réalisation d'essais de terrain plutôt qu'en laboratoire. Les essais mis en œuvre correspondent à la fois à des essais d'orientation (E2) et à des essais de performance (E3).**

Les essais ont été conduits à l'aide de skids dédiés, les effluents ont été traités sur charbon actif.



Figure 3 : Skid de Venting

Sur la base des données du diagnostic complémentaire de 2017, une zone restreinte comportant des teneurs significatives a été sélectionnée pour réaliser les essais de faisabilité. La conception des essais a été effectuée pendant le troisième trimestre 2017. A l'issue de cette phase de conception, des ouvrages de traitement et de contrôle ont été installés sur la zone selon le plan suivant.

Légende :

-  Aiguille de bioventing BV
-  Aiguille de venting V
-  Ouvrage de contrôle en flûte de pan FP
-  Puits de pompage PP
-  Aiguille de sparging BS

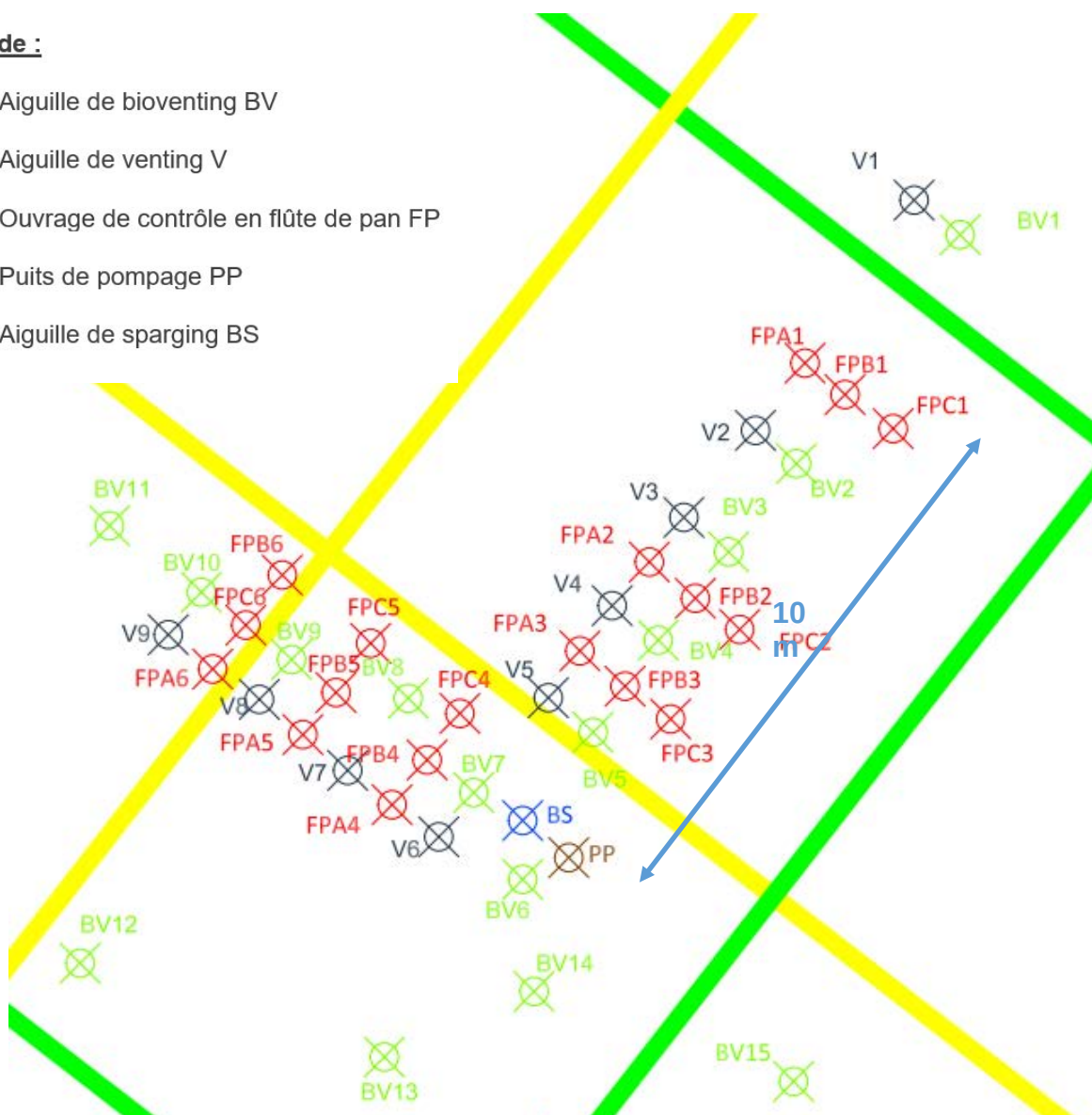


Figure 4 : Implantation des ouvrages relatifs à l'essai de terrain (courte durée)

D'un point de vue technique, le contrôle de l'influence du sparging se fait par des ouvrages dits en « flûte de pan » disposés en triplets afin de mieux contrôler les remontées des gaz de part et d'autre de la couche de limons, notamment l'O₂ dissous. Ces ouvrages ont ciblé 3 niveaux désignés A, B et C. La couche de limons se situe à 3 m au droit de la zone faisant l'objet de l'essai. Les ouvrages A ont donc été réalisés à 2,8 m de profondeur et crépinés entre 2,3 et 2,8 m au-dessus des limons. Les ouvrages B ont été réalisés à 4,5 m de profondeur et crépinés entre 4 et 4,5 m sous les limons. Les ouvrages C ont été réalisés à 6 m de profondeur et crépinés entre 5,5 et 6 m de profondeur sous les limons.

Au-delà des aspects propres au volet environnemental, la réalisation des essais dans le cadre du plan de conception des travaux a dû être effectuée suite à une sécurisation pyrotechnique préalable.

Paramètres	Venting	Bioventing	Flute de pan A	Flute de pan B	Flute de pan C	Biosparging	Pompage
Nombre	9	15	6	6	6	1	1
Profondeur	1 m	2,8 m	2,8 m	4,5 m	6 m	10 m	10 m
Diamètre	3 pouces	3 pouces	3 pouces	3 pouces	3 pouces	3 pouces	4,5 pouces
Zone crépinée	0,5-1 m	0,8-2,8 m	2,3-2,8 m	4,0-4,5 m	5,5-6 m	9-10 m	4-10 m
Diamètre de crépine	0,3 mm	0,3 mm	0,3 mm	0,3 mm	0,3 mm	0,3 mm	0,3 mm
Bouchon d'argile	0,1-0,3 m	0,1-0,3 m	1,5-2 m	3,5-3,8 m	4,5-5 m	7,5-8,5 m	2,5-3,5 m
Cimentation	0-0,1 m	0-0,1 m	0-1,5 m	0-3,5 m	0-4,5 m	0-7,5 m	0-2,5 m

Tableau 4 : Caractéristiques des ouvrages pour le pilote courte durée

Les résumés des conclusions des essais de venting, sparging et ESV sont les suivants.

b. Résultats des essais de faisabilité pour le venting

Plusieurs essais de venting ont été conduits (par palier puits par puits, sur plusieurs ouvrages en simultanés, ...). Suite aux essais réalisés, les données dimensionnantes obtenus pour le venting sont les suivantes :

- Couple débit / dépression optimum moyen : 40 Nm³/h à 70 mbar ;
- Rayon d'influence (ROI) correspondant : 7 mètres ;
- Concentration extraite moyenne C₅-C₁₆ : 50 g/m³.

Ces résultats mettent en évidence une bonne perméabilité des sols conformément à la lithologie du secteur (sables - lorsque ceux-ci ne sont pas imprégnés d'eau à la suite de précipitations). Les essais par puits ont montré que le flux massique extrait est élevé en hydrocarbures C₅-C₁₆ par puits pour un test de courte durée (moins de 24 h).

Le test de venting de janvier 2018 sur plusieurs puits en extraction simultanée a montré néanmoins d'importantes limites dès que le niveau de la nappe et la teneur en eau des sols augmentent à la suite de précipitations. En effet, les fortes pluies de fin décembre 2017 – janvier 2018 ont conduit à une remontée du niveau des eaux souterraines au droit du site obturant en partie les crépines, réduisant la perméabilité à l'air des sables et ennoyant en partie les sols les plus impactés.

c. Sparging

Plusieurs essais de sparging ont été conduits (par palier de débit, pulsé, ...). Suite aux essais réalisés, les données dimensionnantes obtenus pour le sparging sont les suivantes :

- Débit d'injection optimum moyen : 30 Nm³/h ;
- Pression d'injection : 700 mbar ;
- Zone d'influence sous les limons : 4 m ;
- Zone d'influence juste au-dessus des limons : non observé.

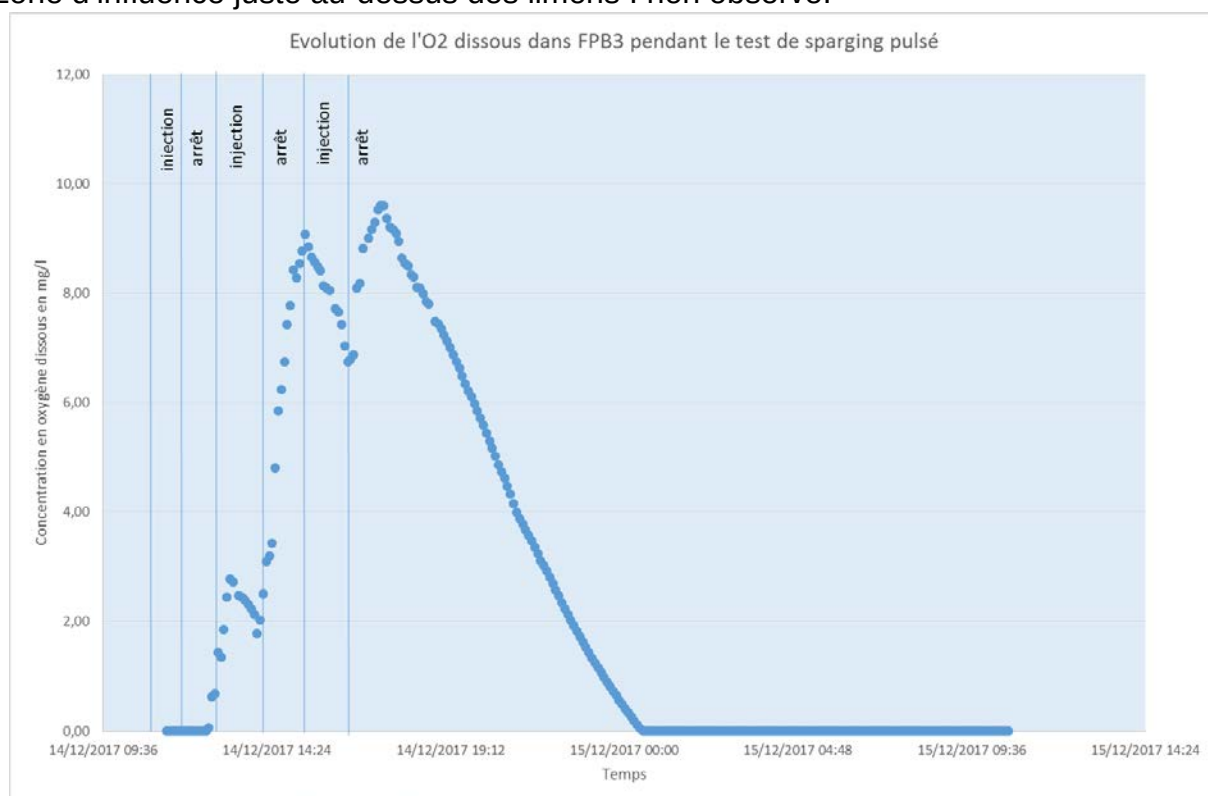


Figure 5 : Exemple de suivi de la concentration en oxygène dissous juste en dessous de la couche de limon lors d'un essai de sparging pulsé – observation d'un déphasage de la concentration en oxygène avec les périodes d'injection lié au déplacement de la masse d'eau.

Les essais réalisés ont montré qu'il subsiste des incertitudes sur la remontée de l'air au travers de la couche de limons et qu'il est possible que cette remontée s'effectue par des chemins préférentiels résultant notamment des forages de sécurisation d'un point de vue pyrotechnique. L'absence d'oxygénation lors des tests de sparging (injection sous les limons) au droit de certains ouvrages semble liée à la couche de limons qui ralentit le transfert des gaz.

d. Extraction Sous Vide

Plusieurs essais d'ESV par palier ont également été conduits. Suite aux essais réalisés, les données dimensionnantes obtenus pour l'ESV sont les suivantes :

- Couple débit / dépression moyen : 20 Nm³/h à 200 mbar ;
- Débit d'eau moyen correspondant : 0,5 m³/h ;
- ROI moyen correspondant : entre 4 et 10 m en fonction de la vitesse de rabattement de la nappe ;
- Concentration extraite moyenne : 30 g/m³ (et jusqu'à 140 g/m³).

e. Conclusion

Les essais de faisabilité réalisés pour chacune des techniques envisagées ont montré différents éléments :

- le venting présente une bonne capacité à extraire les gaz du sous-sol dans le contexte du site. Néanmoins dès la remontée du niveau des eaux souterraines en lien avec des précipitations, la technique a atteint ses limites, les débits et les concentrations extraites ont chuté drastiquement ;
- le sparging permet une bonne oxygénation des eaux souterraines sur la plupart des ouvrages. Néanmoins, certains ouvrages ne réagissent pas et la technique montre des limites pour traiter, de manière homogène, les sols situés au-dessus de la couche de limons. De plus, le venting combiné au sparging ne permet pas de récupérer efficacement les gaz injectés ;
- l'essai d'extraction sous vide a montré des résultats prometteurs pour le traitement des sols au-dessus des limons. Le débit d'eau extrait diminue au fur et à mesure du temps ce qui montre que les sols sont progressivement dénoyés. Les concentrations extraites dans la matrice air sont très importantes ce qui met en évidence une bonne capacité à récupérer la pollution de cet horizon. Il est difficile de réaliser un dimensionnement pleine échelle précis de par la nécessité d'exploiter sur une longue période et ainsi rabattre suffisamment la nappe pour estimer les rayons d'influences (et les paramètres associés) à retenir.

De manière générale, les essais conduits pour valider la faisabilité de la technique du venting / sparging et obtenir un premier dimensionnement, ont permis de mettre en évidence des difficultés techniques pour mettre en œuvre la solution privilégiée à l'issue du premier bilan coût / avantage. A contrario, l'ESV a montré des résultats très positifs sur la capacité d'extraction de la pollution et un premier dimensionnement compatible avec une mise en œuvre à grande échelle. En conséquence, et compte-tenu des enjeux très importants, il a été décidé de mettre en œuvre une seconde série d'essai de performance concernant l'ESV mais cette fois-ci sur une durée beaucoup plus importante (plusieurs mois). Il s'agit d'essais de performances (E3).

La première série d'essais de courte durée a clairement permis de repositionner la stratégie initiale sur une technique plus adaptée à la particularité du site et d'en effectuer un pré-dimensionnement. L'investissement financier alloué à cette phase de conception est estimée à environ 5 % du traitement global de la zone des « produits blancs ».

III) Programme du plan de conception des travaux

a. Présentation et mise en œuvre de la seconde série d'essais

Les objectifs de cette seconde série d'essais sont les suivants :

- mieux comprendre le triptyque rayon d'influence, temps de traitement et niveau d'efficacité du traitement dans l'objectif d'estimer les paramètres optimums ;
- permettre l'optimisation du traitement des effluents.

La durée du pilote nécessaire pour obtenir ces informations a été défini à 6 mois.

Sur la base des résultats des premiers essais réalisés, trois rayons d'influence différents ont été retenus. L'emplacement des ouvrages a été décidé en fonction de ces rayons mais également en tenant compte des concentrations dans les sols suite aux investigations qui avaient été menées. Ainsi, trois zones (rayons de 4, 6 et 8 m) ont été implantées avec un nombre d'ouvrages différent en fonction de chacune des zones.

Le couple débit/ dépression optimal estimé suite aux essais de courte durée est de l'ordre de 20 Nm^3/h pour une dépression de l'ordre de 200 mbar par puits d'extraction. En complément de ces ouvrages de traitement par extraction sous vide (57 ouvrages au total) ont été également implantés 6 ouvrages de pompage ancrés dans l'horizon inférieur et conçus pour abaisser la pression de la nappe sur les ouvrages d'extraction sous vide. Des ouvrages de contrôle ont également été rajoutés au réseau déjà existant.

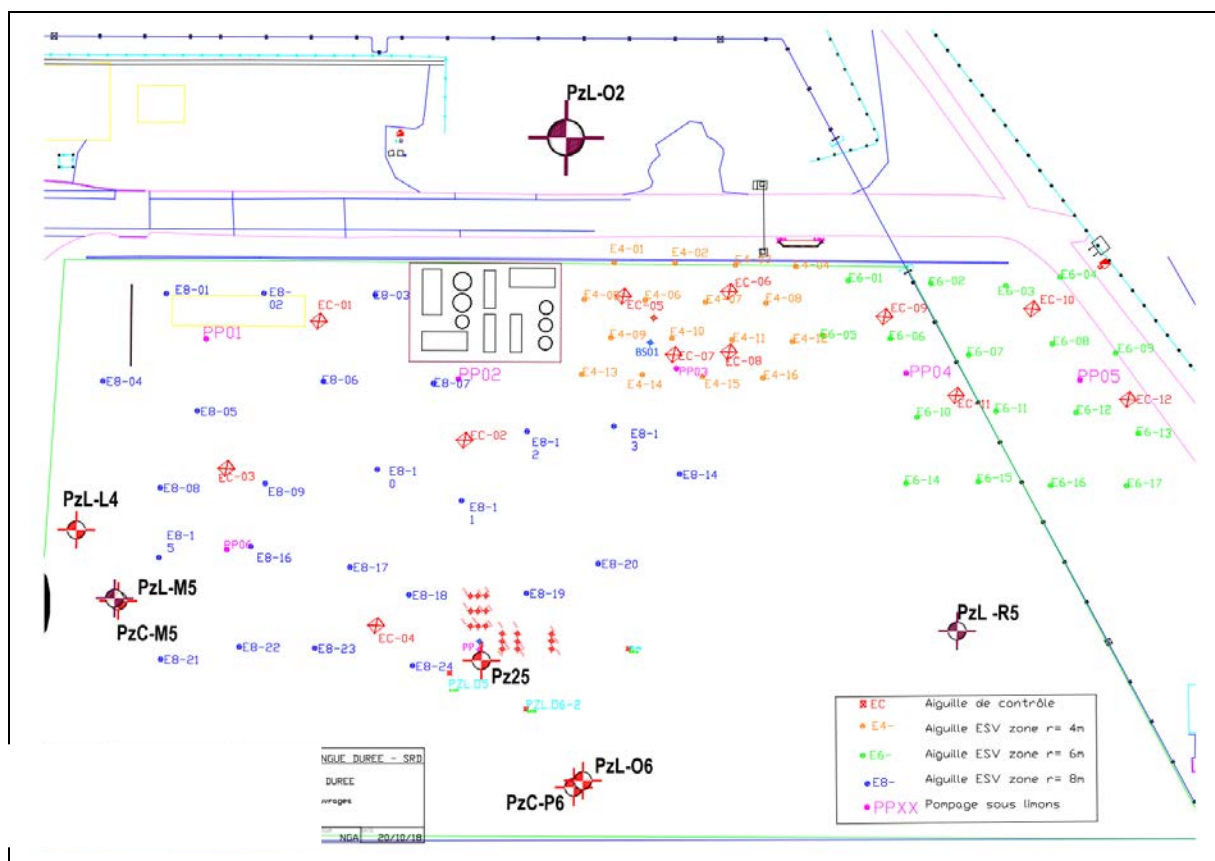


Figure 6 : Implantation des ouvrages d'ESV lors de seconde série d'essais de terrain (longue durée).

Du point de vue technique, le dimensionnement de l'unité d'extraction sous vide de cette nouvelle série d'essai a été fait selon la manière suivante :

- trois cuves à vides (CAV) ;
- un FID en ligne (DéTECTeur à Ionisation de Flamme) ;
- un container d'Extraction Sous Vide (ESV) ;
- un traitement des gaz sur oxydeur catalytique (CATOX) avec une gestion des eaux pompées via une pré-séparation puis à l'unité de traitement du site (STEP interne).

Une unité de pompage pour le rabattement de la nappe inférieure a été jugée nécessaire, dont la gestion des eaux se fait également via une pré-séparation puis à la STEP.

Préalablement aux essais, pendant la période de préparation, différents documents et outils ont été constitués et mis en place comme :

- un fichier HAZOP (HAZard and OPerability studies) concernant les risques potentiels du process,
- un Document Relatif à la Protection contre les Explosions (DRPE) pour la gestion du risque ATEX ;
- la mise en place de sécurités comme un FID en ligne et un capteur IR (Infra Rouge) avec une gestion automatique.



Figure 7 : Photographie aérienne de l'installation finalisée pour la seconde série d'essais de terrain (longue durée).

b. Résultats des essais longue durée et perspectives

L'unité a été démarré en novembre 2018, des données et informations ont été collectées tout au long de l'essai longue durée. Les premiers mois d'exploitation permettent de confirmer les couples débit / dépression obtenus lors de la première série d'essai de courte durée. Les concentrations entrant dans le système d'extraction varient en fonction de la hauteur des niveaux de la nappe dans les ouvrages ; plus les ouvrages sont dénoyés, plus les concentrations augmentent. Les concentrations en entrée de traitement varient fortement, ce qui oblige à une régulation précise et rapide de la dilution pour continuer à extraire tout en maintenant des concentrations acceptables sur le process.

Les contraintes amont à l'aspiration concernent le maintien en atmosphère non explosible, tandis que les contraintes sur le traitement des gaz en aval de l'aspiration concernent la capacité du CATOX à traiter le flux.

Ainsi, l'essai de performance sur une longue durée (plusieurs mois) a permis d'obtenir des informations cruciales sur la technologie de gestion des gaz pour un déploiement à pleine échelle.

L'exploitation de l'installation sur plusieurs mois a permis de diminuer progressivement le niveau d'eau globale au-dessus des limons. Les informations collectées lors de cet essai de longue durée permettent de préciser un dimensionnement à pleine échelle en prenant en compte le ROI ainsi que les vitesses de rabattement et la capacité de traitement des gaz associées.

En conclusion, sur cet exemple, la seconde série d'essai de longue durée est indispensable sur ce site pour affiner le dimensionnement :

- **de l'implantation des ouvrages ;**
- **des éléments d'extraction ;**
- **des éléments de traitement d'eau et d'air.**

Ce type d'essai représente un investissement financier forcément plus important que la première série d'essai (estimation à 10 % du traitement global) mais permet de sécuriser l'investissement en phase travaux pour des sites complexes et à enjeux lorsque des limites techniques sont identifiées lors d'une première phase d'essai.

Ainsi, dans le cas présenté correspondant à un site industriel au passé complexe et aux problématiques multiples (plusieurs niveaux aquifères, risques pyrotechniques et ATEX, ...), la phase de faisabilité représente donc un investissement financier estimé à 15 % de l'opération de traitement global. Ces investissements ont permis d'augmenter très significativement la maîtrise de la dépollution, à la fois en terme de coûts mais également en termes de délai et de gestion globale du projet de réhabilitation : il peut être raisonnablement estimé qu'ils permettent d'éviter des erreurs stratégiques qui auraient pu coûter plus de 100 % du montant prévu, voire d'échouer à atteindre les objectifs validés du plan de gestion.

En cohérence avec les exigences de la norme NF X 31-620-3 (prestations PCT et B112), le livrable associé à cet exemple va ainsi s'attacher à reprendre l'ensemble des éléments détaillés ci-dessus (rappel du contexte, synthèse détaillée du plan de gestion, objectifs des essais, description des matériel et de la méthode mise en œuvre, résultats des différents essais de terrain avec leur interprétation, faisabilité technique du traitement, description des incertitudes résiduelles, éventuels éléments de mise à jour du plan de gestion, préconisations complémentaires en matière de contrôle, de surveillance, ...).

**Ministère de la Transition
écologique et solidaire**

92055 La Défense CEDEX

Tél. : 01 40 81 21 22



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET SOLIDAIRE