

EPF BRETAGNE

Ancien atelier mécanique sis 69, rue de
Pont-Aven (Kervidanou) à QUIMPERLE (29)

Plan de Gestion des pollutions (mise-à-jour)

Rapport

Réf : LB2700811 / RLB25144-01

GDU // PL

13/02/2025



GINGER BURGEAP Agence Loire-Bretagne • ZAC des hauts de Couëron 3

24 quater rue Jan Palach • 44220 COUERON

Tél. 33 (0) 2 40 38 67 06 • burgeap.nantes@groupeginger.com

SIGNALETIQUE

CLIENT

RAISON SOCIALE	EPF BRETAGNE
COORDONNÉES	14, avenue Henri Fréville - CS90721 35207 RENNES Cedex 2
INTERLOCUTEUR (nom et coordonnées)	Grégoire HUVER - Opérateur foncier Tél : 02 99 86 74 44 • gregoire.huver@epfbretagne.fr




GINGER BURGEAP

ENTITE EN CHARGE DU DOSSIER	Agence de Loire-Bretagne 24 quater rue Jan Palach • 44220 COUERON Tél : 33 (0) 2 40 38 67 06 • burgeap.nantes@groupeginger.com
CHEF DU PROJET	Guilhem DUCHET Tél : 06 80 75 41 67 • g.duchet@groupeginger.com
COORDONNÉES Siège Social <i>SAS au capital de 1 200 000 euros dirigée par Edgar COULOMB</i> <i>SIRET 682 008 222 000 79 / RCS Nanterre B 682 008 222/ Code APE 7112B / CB BNP Neuilly – S/S 30004 01925 00010066129 29</i>	Siège Social 143, avenue de Verdun 92442 ISSY LES MOULINEAUX Tél : 01.46.10.25.70 • burgeap@groupeginger.com

RAPPORT

Offre de référence	CV_LB0002547 du 09/10/2024
Numéro et date de commande	EJ202401328 et EJ202401330 du 11/10/2024
Numéro de projet / de rapport	Réf : LB2700811 / RLB25144-01
Num. du site d'intervention (GMP)	1972
Domaine technique	27_3

SIGNATAIRES

DATE	Indice	Rédaction Nom / signature	Vérification Nom / signature	Supervision / validation Nom / signature
13/02/2025	01	G. DUCHET 	P. PICARD 	P. PICARD 
	02			

SOMMAIRE

Synthèse technique (sur 5 pages).....	6
1. Introduction.....	11
1.1 Objet de l'étude.....	11
1.2 Codification des prestations.....	12
1.3 Documents de référence et ressources documentaires.....	13
2. Présentation du site et de son environnement.....	14
2.1 Identification du site étudié.....	14
2.2 Description succincte de l'environnement.....	14
3. Présentation du projet d'aménagement.....	16
4. Synthèse des études environnementales antérieures.....	17
4.1 Synthèse de l'étude historique (2016).....	17
4.2 Synthèse de l'état environnemental du terrain au droit du site (en juin 2023).....	19
5. Schéma conceptuel des usages futurs.....	21
6. Détermination des zones de pollution concentrée.....	24
6.1 Méthodologie nationale.....	24
6.1.1 Principes.....	24
6.1.2 Notion de sources - transfert - cibles.....	24
6.1.3 Zone de pollution concentrée.....	25
6.2 Détermination des seuils de coupure.....	26
6.2.1 Applicabilité aux composés à l'origine des impacts.....	26
6.2.2 Interprétation des constats de terrain (méthode 1) et approche cartographique (méthode 2).....	26
6.2.3 Détermination des seuils de coupure par approche statistique (Méthode 3).....	30
6.2.4 Conclusion sur le choix des seuils de coupure.....	32
7. Plan de gestion du site.....	33
7.1 Méthodologie.....	33
7.2 Contraintes liées au projet et aux impacts identifiés.....	34
7.3 Objectifs de réhabilitation (sur site).....	35
7.4 Sélection des techniques de traitement applicables au site.....	36
7.4.1 Présélection des techniques de traitement (hors coût).....	36
7.4.2 Description des techniques retenues.....	38
7.5 Elaboration des scénarios de gestion envisageables pour le site.....	44
7.6 Descriptif des scénarios de gestion.....	45
7.6.1 Préambule n°1 : Risque de désordre sur les fondations et structures.....	45
7.6.2 Préambule n°2 : Confinement par couverture de la pollution.....	45
7.6.3 Préambule n°3 : Faisabilité des procédés de traitement in-situ.....	46
7.6.4 Préambule n°4 : Estimation des quantités de pollution concentrée à gérer.....	47
7.6.5 Scénario 1 « Confinement in-situ par couverture » pour le projet de parvis et stationnements aériens.....	50
7.6.6 Scénario 2 « Pompage et traitement in situ ou extraction multiphasique ».....	52
7.6.7 Scénario 3 « Oxydation chimique in situ ».....	54
7.6.8 Scénario 4 « excavation/évacuation en filière adaptée et biodégradation in situ » ..	56
7.7 Bilan coûts-avantages des scénarios de gestion.....	58
7.7.1 Sélection des critères pour la cotation des scénarios de gestion.....	58
7.7.2 Bilan coûts- avantages.....	58
7.8 Etudes pour finaliser le choix du scénario de gestion.....	60
7.9 Canalisations d'amenée des eaux potables.....	60
7.10 Contrôle des travaux et Prévention des risques.....	61

7.10.1	Prévention des risques sanitaires en phase chantier	61
7.10.2	Suivi des travaux de gestion des déblais impactés	61
7.10.3	Programme analytique au cours et en fin de travaux (réception)	61
7.10.4	Récolement	62
7.10.5	Analyse des risques résiduels après travaux	62
7.10.6	Suivi environnemental de la qualité de la nappe souterraine	62
8.	Schéma conceptuel avec mesures de gestion	63
9.	Analyse des Risques Résiduels (ARR-A320) - Synthèse	66
9.1	Scénario d'exposition retenu et modèle de calculs	66
9.2	Milieux et composés pris en compte	66
9.3	Quantification du risque	67
9.4	Conclusion de l'ARR	68
10.	Conservation de la mémoire et restrictions d'usage	69
10.1	Cadre et objectifs	69
10.2	Contenu des restrictions à mettre en œuvre au droit du site étudié	70
11.	Synthèse et recommandations	71
11.1	Synthèse non technique (sur 5 pages)	71
11.2	Recommandations	76
12.	Limites d'utilisation d'une étude de pollution	77

FIGURES

Figure 1 : Localisation du site étudié	15
Figure 2 : Esquisse du projet de bâtiment (ARCHIPOLE, 21/09/2016)	16
Figure 3 : Localisation des anciennes installations et sources potentielles de pollution.....	18
Figure 4 : Localisation des sols reconnus pollués au droit du site (parcelles AX490 et 491)	20
Figure 5a : Schéma conceptuel (usages d'habitat aux étages) - sans mesures de gestion.....	22
Figure 6 : Synthèse des constats suspects de terrain.....	28
Figure 7 : Localisation des teneurs significatives (pollution concentrée) dans les sols	29
Figure 8 : Emprise supposée des pollutions concentrées dans les sols et au droit du site étudié	49
Figure 9a : Schéma conceptuel (usages d'habitat aux étages) - avec mesures de gestion.....	64

TABLEAUX

Tableau 1 : Documents de référence	13
Tableau 2 : Identification du site étudié	14
Tableau 3 : Installations potentiellement polluantes au droit du site	17
Tableau 4 : Synthèse des impacts dans les différents milieux au droit des parcelles AX490 et 491	19
Tableau 5 : Schéma conceptuel des usages futurs (sans mesures de gestion)	21
Tableau 6 : Tableau d'analyse statistique des données pour l'indice HC C ₁₀ -C ₄₀	30
Tableau 7 : Tableau d'analyse statistique des données pour les BTEX	31
Tableau 8 : Choix des seuils de coupure (sur site)	32
Tableau 9 : Synthèse des techniques de traitement envisageables	37
Tableau 10 : Quantification des pollutions concentrées sur site	48
Tableau 11 : Estimation des coûts de gestion des pollutions (SC1 : confinement par recouvrement des hydrocarbures, dans le cadre du projet de parvis et stationnements aériens).....	51
Tableau 12 : Estimation des coûts de gestion des pollutions concentrées (SC2 : pompage et traitement in situ des hydrocarbures).....	53
Tableau 13 : Estimation des coûts de gestion des pollutions concentrées (SC3 : oxydation chimique in situ des hydrocarbures)	55
Tableau 14 : Estimation des coûts de gestion des pollutions concentrées (SC4 : excavation/évacuation en filière adaptée, puis biodégradation in situ)	57
Tableau 15 : Critères et pondération retenus pour le bilan coûts / avantages des scénarios de gestion	58
Tableau 16 : Synthèse du bilan coûts/avantages pour les scénarios retenus	58
Tableau 17 : Schéma conceptuel des usages futurs (avec mesures de gestion).....	63
Tableau 17 : Synthèse des niveaux modélisés de risque sanitaire pour le scénario « Parvis et stationnement aérien »	67
Tableau 18 : Synthèse des niveaux modélisés de risque sanitaire pour le scénario « Immeuble sur vide sanitaire avec Bureaux/commerces en RdC et habitat collectif à l'étage »	67
Tableau 20 : Restrictions d'usage à mettre en œuvre	70

ANNEXES

- Annexe 1. Plan de composition du projet d'aménagement
- Annexe 2. Données disponibles sur la qualité environnementale des milieux
- Annexe 3. Analyse des Risques Résiduels
- Annexe 4. Glossaire

Synthèse technique (sur 5 pages)

CONTEXTE		
CLIENT	ETABLISSEMENT PUBLIC FONCIER DE BRETAGNE (EPF BRETAGNE)	
Nom / adresse du site	Ancien atelier mécanique sis 69, rue de Pont-Aven (Kervidanou) à QUIMPERLE (29)	
Contexte de l'étude	Réhabilitation du site par l'EPF BRETAGNE et pour le compte de la Mairie, en vue de son aménagement	
Projet d'aménagement	Projet à définir précisément, avec comme scénarios possibles : <ul style="list-style-type: none"> • un bâtiment construit sur l'ensemble du site (avec vide-sanitaire ; absence de sous-sol) avec du stationnement et des commerces/bureaux en RdC, ainsi que des logements aux étages ; • ou bien, un parvis avec du stationnement aérien sur l'ensemble du site (absence d'espace vert). 	
Informations sur le site lui-même	Superficie totale	766 m ²
	Parcelles cadastrales	490 et 491 de la section AX
	Propriétaire	EPF BRETAGNE
	Usage actuel	Immeuble inoccupé
	Usage passé	Atelier mécanique et station-service (exploitants LE MEUR, puis THOMAS)
	Historique connu	<ul style="list-style-type: none"> • à partir des années 1940-50 : atelier mécanique (exploitant LE MEUR et enseigne RENAULT) associé à une station de distribution de carburants avec 2 cuves enterrées et compartimentées (capacités de 10 et 16 m³) ; • en 2002 : acquisition par M. THOMAS et occupation de l'ancien atelier (cuves inertées à l'eau) par un cabinet d'assurance et un brocanteur ; • en 2015-2016 : acquisition par M. LARDIC et occupation de l'ancien atelier pour du stationnement et un appartement à l'étage.
	Installation ICPE	Oui (déclaration pour l'atelier mécanique et le stockage de carburants)
		Cessation : acte non retrouvé (activités arrêtées depuis au moins 20 ans)
Description des avoisinants	<ul style="list-style-type: none"> • au Nord et à l'Ouest : la rue de Pont Aven (Kervidanou) bordée de quelques commerces (bar-tabac, grossiste, etc.) et des maisons individuelles avec jardins ; • à l'Est : une boulangerie, du logement collectif, des voies ferrées, puis le centre-ville ; • au Sud : une friche correspondant à l'îlot St-Yves (projet de création de logements collectifs), des maisons individuelles, puis l'hôpital de la Villeneuve. 	
Contexte lithologique et hydrogéologique	Lithologie	Des remblais limoneux de 0,8 à 1 m d'épaisseur et surmontant des limons plus ou moins sableux jusqu'à 5 m de profondeur minimum (arrêt de sondage).
	Hydrogéologie	Une humidité des sols identifiée à partir de 4 m de profondeur, mais avec des niveaux statiques mesurés entre 1,05 et 1,53 m de profondeur sur les piézomètres en juin 2023 (entre 0,75 et 0,89 m de profondeur en février 2018). Un sens supposé d'écoulement globalement de l'Ouest vers l'Est, en direction du ruisseau du Dourdu localisé à environ 200 m à l'Est (sens d'écoulement similaire à celui obtenu en février 2018).
Etudes environnementales antérieures	<ul style="list-style-type: none"> • Etude historique et documentaire (phase 1 : INFOS) - BURGEAP pour le compte de EPF BRETAGNE - Rapport référencé RSSPLB5764 et daté du 07/10/2016 ; • Etude pré-opérationnelle pour la restructuration de l'îlot Saint-Yves - ARCHIPOLE pour la Ville de Quimper et de l'OPAC du Finistère - document référencé FC et daté du 21/09/2016 ; • Diagnostic environnemental des sols (phase 2 : AMO-A270) - BURGEAP pour le compte de EPF BRETAGNE - Rapport référencé RSSPLB6246 et daté du 18/07/2017 ; • Diagnostic complémentaire de pollution (AMO-A270) - GINGER BURGEAP pour le compte de EPF BRETAGNE - Rapport référencé RSSPLB7590 et daté du 14/06/2018 ; • Diagnostic complémentaire de pollution (AMO-A270) - GINGER BURGEAP pour le compte de EPF BRETAGNE - Rapport référencé LB2700259 / 1025065-01 et daté du 15/09/2023 ; • Plan de Gestion des pollutions (PG) - GINGER BURGEAP pour le compte de EPF BRETAGNE - Rapport référencé LB2700259 / 1052380-02 et daté du 07/11/2023 ; • Essais au laboratoire (B111) d'oxydation chimique et de biodégradation aérobie - Rapport GINGER BURGEAP référencé LB2300005 / R1075695 et daté du 21/06/2024. 	

Impacts connus sur le milieu souterrain (HPC, 2016 et 2018 ; GINGER, sept. 2023)	Impacts dans les sols	<ul style="list-style-type: none"> aux abords des cuves de carburants enterrées, une pollution en hydrocarbures volatils (de type essence), globalement entre 0,1 et 4 m de profondeur minimum (teneurs en indice C₁₀-C₄₀ entre 116 et 1 360 mg/kg, ainsi qu'en BTEX de 1,75 à 180,3 mg/kg) et associées à des odeurs d'hydrocarbures (moyennes à fortes). Les investigations complémentaires de juin 2023 permettent de reconnaître certaines extensions latérales de cette pollution en carburant (<u>extension de la pollution probable hors-site</u>) ; dans une moindre mesure, <u>au droit des anciens volucompteurs</u>, une pollution en hydrocarbures volatils (de type essence), entre 0,1 et 2 m de profondeur (teneurs en indice C₁₀-C₄₀, BTEX et naphtalène de respectivement, 134 mg/kg, 7,58 mg/kg et de 5,5 mg/kg) et associées à des odeurs d'hydrocarbures (jusqu'à 3 m de profondeur) ; des pollutions en hydrocarbures faiblement volatils (de type huile) en partie Est de l'atelier mécanique (parcelle n°490) et à l'extrémité Sud-Est de l'atelier (parcelle n°491), globalement entre 0,1 et 4 m de profondeur (teneurs entre 436 et 4 070 mg/kg en indice C₁₀-C₄₀). <p>Notons que la pollution en hydrocarbures en partie Est de l'atelier (sondage C6), est associée à un impact en cadmium et plomb au sein du remblai superficiel (respectivement, teneurs de 1,28 et 226 mg/kg). Par ailleurs (sondage C2), un impact en plomb (613 mg/kg) est ponctuellement identifié au sein du remblai superficiel, à l'entrée de l'ancien atelier mécanique (jusqu'à 1 m de profondeur).</p>
	Impacts dans les eaux souterraines (<u>campagnes de février 2018 et juin 2023</u>)	<ul style="list-style-type: none"> <u>à proximité des cuves enterrées (piézomètre Pz2)</u>, un impact en hydrocarbures (phase organique flottante non relevée) avec des teneurs en indice C₁₀-C₄₀ de 4,28 et 1,26 mg/L, ainsi qu'en BTEX de 17,36 et 4,53 mg/L, supérieures au critère de qualité des eaux brutes destinées à la production d'eau potable (annexe II de l'arrêté du 11/01/2007 modifié). Par ailleurs, cet impact n'est pas retrouvé en amont ou aval des cuves enterrées (seulement des traces en hydrocarbures) ; <u>à proximité des cuves (sur Pz2 ; source non identifiée)</u>, une légère dégradation en solvants chlorés avec des teneurs en chlorure de vinyle (2,33 et 4,03 µg/L) et dichlorométhane (133 µg/L) supérieures aux valeurs guides pour l'eau potable (Arrêté du 11/01/2007 modifié et/ou OMS).
	Impacts dans les gaz du sol (<u>campagne de février 2018 et/ou juin 2023</u>)	<ul style="list-style-type: none"> <u>aux abords des cuves enterrées de carburants</u>, un impact en hydrocarbures (teneurs en TPH de 9,5 et 37,6 mg/m³ et en benzène de 4,6 et 13,9 µg/m³), ainsi qu'une légère dégradation en PCE (2,4 à 11,8 µg/m³) ; <u>en aval par rapport aux cuves enterrées et à proximité immédiate des anciens volucompteurs</u>, une dégradation en hydrocarbures dans une moindre mesure (en 2018 : teneurs en TPH de 6,6 mg/m³ et benzène de 9,5 µg/m³ (non retrouvés lors de la campagne de juin 2023)). <p>L'application du facteur Alpha (0,05) aux teneurs mesurées dans les gaz du sol, induit des teneurs en polluants (notamment en benzène) inférieures aux valeurs guides et réglementaires dans l'air ambiant.</p>
Schéma conceptuel d'usage futur (sans mesures de gestion)	<ul style="list-style-type: none"> <u>Impacts identifiés sur site</u> : sols pollués en hydrocarbures et métaux + eaux souterraines et gaz du sol dégradé en hydrocarbures et certains COHV ; <u>Cibles à protéger</u> : usagers futurs (adultes/enfants de passage ou résidant) ; <u>Voies d'exposition</u> : inhalation de gaz et perméation. 	
Essais en laboratoire sur la biodégradation des hydrocarbures (GINGER, juin 2024)	<ul style="list-style-type: none"> une très bonne biodégradation du naphtalène dans les sols et les eaux avec des abattements supérieurs à 80% dès 2 mois d'essai ; une biodégradation limitée des hydrocarbures (C5-C10 et C10-C40) et des BTEX (xylènes) dans les sols en raison de : la faible diffusion de l'oxygène dans l'échantillon de sols et le relargage de polluants par consommation de la matière organique du sol. <p>➔ la biodégradation aérobie n'est donc pas une technique recommandée.</p>	
Essais en laboratoire sur l'oxydation chimique des hydrocarbures (GINGER, juin 2024)	<ul style="list-style-type: none"> pour les HC C5-C10, des taux d'abattement entre 32% et 78% selon la teneur en oxydant ; pour les BTEX, des abattements très satisfaisants et supérieurs à 88% dès 7 jours (légèrement plus élevés avec le persulfate comparé au permanganate) ; pour les HC C₁₀-C₄₀, des abattements variables et difficiles à estimer pour le permanganate et pas d'abattement pour le persulfate. 	

PLAN DE GESTION / RECOMMANDATIONS	
Intitulé et objectifs	Actualisation du Plan de gestion des pollutions (y compris ARR) en vue de l'aménagement du site.
Plan de Gestion du site - 1/2	<ul style="list-style-type: none"> • Objectifs de réhabilitation : <ul style="list-style-type: none"> • <u>Traitement/dépollution des sols superficiels jusqu'à 1 m de prof., au niveau des sols non saturés ;</u> • Gestion des sols présentant des pollutions concentrées et définies par les teneurs suivantes : <ul style="list-style-type: none"> • <u>500 mg/kg en indice HC C₁₀-C₄₀</u> (correspondant au seuil défini dans la Méthode 3 par « <i>nuage de points</i> », ainsi qu'au centile 75 des teneurs obtenues sur le secteur des cuves à carburants) ; • <u>6 mg/kg en TEX</u> (selon la répartition cartographique des constats suspects et des teneurs (Méthodes 1 et 2), et correspondant au seuil le plus faible de la Méthode 3 « <i>nuage de points</i> ») ; • <u>< LQ en Benzène.</u>
	<ul style="list-style-type: none"> • Principales contraintes liées au projet et aux impacts identifiés : <ul style="list-style-type: none"> • Localisation au sein d'un quartier densément urbanisé (habitat) → <u>Gestion des nuisances en cas de chantier de traitement des pollutions</u> (odeurs et exposition à la pollution, densité et propreté du trafic routier, espaces de stationnement et de stockage de matériels/matériaux, etc.) ; • Espace disponible considéré limité avec l'absence de secteur à remblayer → <u>Terrassements très limités pour l'aménagement</u> ; • Mitoyenneté/proximité de limite parcellaire : contrainte liée à l'exiguïté du site et à la proximité des sources-sols concentrées avec la voie publique (rue de Pont-Aven) et la parcelle voisine AX72, voire au-delà → <u>Risque de désordre sur les fondations et murs de la parcelle AX72, ainsi que sur la voirie et les réseaux enterrés de la rue de Pont-Aven</u> ; • Gestion des eaux souterraines et de fond de fouille : ZS à faible profondeur (environ 1 m) et induisant une contrainte de gestion des eaux en cas d'excavation et risque élevé de mobilisation/migration de polluants et affouillement → <u>Maitrise nécessaire des procédés de traitement/dépollution (notamment de leur influence sur l'écoulement des eaux souterraines et du phénomène de dispersion de polluants)</u> et éventuelle étude d'une solution de soutènement.
	<ul style="list-style-type: none"> • Scénarios/solutions de gestion des pollutions au droit du site étudié : <ul style="list-style-type: none"> • en 1^{er} lieu (par défaut) : <u>Excavation et évacuation en filière adaptée</u> des remblais superficiels reconnus pollués et facilement accessibles (<u>sur 1 m d'épaisseur</u>, au niveau de la ZNS) ; • en 2^{ème} lieu (en sus) : Gestion des sols profonds présentant des pollutions concentrées, avec : <ul style="list-style-type: none"> • Scénario 1 : <u>Confinement in situ par couverture</u> des pollutions concentrées en hydrocarbures et la surveillance de la qualité des eaux souterraines sur une durée prolongée. Pour ce scénario, seul le projet de parvis et stationnement aérien pourra être envisagé et devra intégrer une gestion des eaux pluviales en dehors des confinement et pollution résiduelle ; • Scénario 2 : <u>Pompage et traitement in situ (stripping, filtration), voire extraction multiphasique</u>, de la pollution concentrée en hydrocarbures ; • Scénario 3 : <u>Oxydation chimique in situ</u> des pollutions concentrées en hydrocarbures ; • Scénario 4 : <u>Excavation et évacuation en filière adaptée</u> des pollutions concentrées, ainsi que <u>la biodégradation dynamisée in situ</u> (ou Atténuation Naturelle Contrôlée) de la pollution difficilement accessible (en-deçà de 3 m de profondeur). <p>Pour l'ensemble des scénarios, la mise en place d'une surveillance environnementale (<i>a minima</i> un bilan quadriennal) est envisagée pour vérifier la maîtrise de la pollution (absence de migration).</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Enjeux hors site : <ul style="list-style-type: none"> • Extensions probables de la pollution concentrée en hydrocarbures au droit de la rue de Pont Aven, de la parcelle AX72 voisine, voire au-delà ; • Usage probablement sensible de la nappe souterraine (éventuels puits pour l'arrosage de potagers, voire la consommation d'eau) et la volatilisation possible de polluants transitant dans les eaux souterraines dans l'air ambiant hors-site ; <ul style="list-style-type: none"> → <u>la démarche d'IEM est recommandée</u>, afin de s'assurer de la compatibilité de l'état des milieux avec des usages présents (hors site). → le Plan de Gestion (avec ARR) devra être mis-à-jour, dans le cas d'une pollution hors site.
	<ul style="list-style-type: none"> • Estimation des quantités de pollution concentrée dans les sols : <p>Au total et <u>uniquement au droit du site étudié</u>, la quantité de sols présentant une pollution concentrée en hydrocarbures est estimée à 1 365 m³ (2 457 tonnes). Cette quantité estimée comprend l'aléa de + 30% sur les extensions dans les sols.</p>

<p>Plan de Gestion du site</p> <p>-</p> <p>2/2</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Estimation des coûts de gestion des pollutions dans les sols (1^{ère} approche) : • Scénario 1 : 310 k€ HT pour l'évacuation des remblais pollués jusqu'à 1 m de profondeur (facilement accessibles), puis le confinement in situ (par couverture) de la pollution concentrée (constitution d'une dalle bétonnée comprise). <p>Toutefois, ce scénario contraint fortement le projet d'aménagement (nécessité d'un usage futur peu sensible, tel que des parvis et stationnements aériens, impossibilité d'infiltration des EP).</p> <p>De plus, le confinement de la pollution nécessitera <u>une surveillance sur le moyen-long terme</u> (prise en compte d'un bilan quadriennal dans l'estimation ; surcoût évalué à + 250 k€ HT pour un suivi semestriel d'une durée de 30 ans) ;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Scénario 2 : 380 k€ HT pour le pompage et le traitement in situ (stripping, filtration), voire l'extraction multiphasique de la pollution concentrée, ainsi que l'évacuation en filière adaptée des remblais superficiels reconnus pollués ; • Scénario 3 : 450 k€ HT pour l'oxydation chimique in situ de la pollution concentrée en hydrocarbures, ainsi que l'évacuation en filière adaptée des sols superficiels reconnus pollués ; • Scénario 4 : 590 k€ HT pour l'excavation (jusqu'à 3 m de prof.) et l'évacuation en filière adaptée des pollutions concentrées, ainsi que la biodégradation dynamisée in situ de la pollution difficilement accessible (au-delà de 3 m de profondeur). <p>Ces différents budgets pourront évoluer au stade du PCT, à la hausse comme à la baisse, en regard des études et essais réalisés en amont.</p>
<p>ARR après mise en œuvre des mesures de gestion et pour les usages futurs sur site</p>	<p>Dans le cadre de la mission qui nous a été confiée, avec les conditions d'études retenues, et en l'état actuel des connaissances scientifiques, les niveaux de risques estimés après gestion des sources concentrées, sont inférieurs aux critères d'acceptabilité tels que définis par la politique nationale de gestion des sites pollués.</p> <p>Ainsi, l'état environnemental du site dans le cadre du Plan de Gestion (<u>prise en compte des objectifs de dépollution et du confinement par couverture de la pollution résiduelle</u> (construction sur vide-sanitaire avec dallage imperméable et matériaux sains de minimum 1 m d'épaisseur)), est compatible avec les usages projetés de bureaux/commerces/parking en RdC (sur vide-sanitaire) et de logement collectif aux étages, voire celui de parvis associé à du stationnement aérien.</p> <p>Soulignons que cette conclusion n'est valable que dans le cadre de la gestion des pollutions concentrées au droit du site étudié, et devant prévoir :</p> <ul style="list-style-type: none"> • selon le scénario de gestion, <u>le traitement des pollutions concentrées en hydrocarbures</u> ; • <u>a minima</u>, le confinement de la pollution résiduelle (avec un dallage imperméable sur vide-sanitaire et une couche sous-jacente de matériau/remblai sain de 1 m d'épaisseur minimum) ; • en RdC du futur bâtiment, <u>les usages proscrits de logement</u> (usages prévus de bureau/commerce, parking et locaux de partie commune (escalier, local des poubelles, etc.)) ; • l'emploi de canalisations d'AEP anti-perméation avec joints renforcés et enfouies au sein de matériau propre et sain (abandon des anciennes canalisations d'AEP).
<p>Restrictions d'usage au droit du site</p>	<ul style="list-style-type: none"> • l'interdiction de logement et/ou d'ERP « <i>sensible</i> » en RdC ; • l'interdiction de jardins potagers et d'arbres fruitiers en pleine terre ; • le confinement par couverture de la pollution résiduelle (avec un dallage imperméable sur vide-sanitaire et du matériau sain de 1 m d'épaisseur minimum) et sa signalisation (géotextile et grillage avertisseur) ; • la gestion appropriée des déblais en cas de terrassement, avec la traçabilité du devenir des déblais et la reconstitution de la structure de confinement ; • l'interdiction de l'infiltration d'eau, sans étude préalable du risque de migration de polluant vers la nappe ; • l'interdiction des usages des eaux souterraines sans étude complémentaire (<u>interdiction à étudier et envisager hors site</u>) ; • l'emploi de canalisations d'AEP anti-perméation avec joints renforcés, et enfouies au sein de matériaux propres et sains ; • à l'issue des travaux de réhabilitation du site, la poursuite du suivi de la qualité des eaux souterraines (<u>a minima, un bilan quadriennal avec notamment de nouveaux piézomètres</u>) ; • en cas de modification de l'usage, la nécessité de mettre-à-jour les PG-ARR. <p>Une identification de ce rapport dans les documents d'urbanisme et fonciers est indispensable au niveau du « <i>service de conservation des hypothèques</i> », De plus, il est recommandé d'ajouter le site étudié à la liste des SIS (démarche auprès de la Préfecture du Finistère).</p>

Recommandations	<ul style="list-style-type: none"> • pour la situation ICPE de l'ancienne activité : la mise en point avec l'administration (DREAL) sur la cessation définitive des anciennes activités ; • une étude géotechnique, voire l'expertise d'un BET « <i>structure</i> » ; • une étude hydrogéologique pour la détermination du NPHE et des essais de pompage et/ou d'extraction au droit du site ; • des essais de traitabilité/faisabilité de traitement, avec des essais in situ d'injection d'oxydant chimique (<i>en cours</i>), voire de pompage et d'extraction multiphasique ; • le cas échéant (après les essais in situ), un PCT et la maîtrise d'œuvre des travaux de réhabilitation du terrain avec en 1^{er} lieu des études d'AVP-PRO ; • Gestion des enjeux hors site : un diagnostic complémentaire hors-site (sur les Sols, Eaux souterraines, Gaz du sol, Air ambiant et Eaux de robinet), ainsi que la démarche IEM complétée d'une enquête de quartier. Ces investigations permettront en outre de préciser le périmètre des restrictions d'usage pour les eaux souterraines.
------------------------	--

1. Introduction

1.1 Objet de l'étude

Dans le cadre du projet d'aménagement de l'ancien atelier mécanique localisé au 69, rue de Pont-Aven (Kervidanou) à Quimperlé (29), l'EPF BRETAGNE a missionné GINGER BURGEAP pour l'actualisation du Plan de Gestion des pollutions relevées dans le terrain.

Le site étudié correspond aux parcelles AX490 et 491 (superficie de 766 m²) et inclus au sein du projet de l'îlot Saint-Yves devant faire l'objet d'un permis d'aménager (en cours). Jusqu'en 2002, les parcelles AX490 et 491 se trouvaient occupées par un atelier mécanique et une station de distribution de carburants (ancien exploitant LE MEUR). Actuellement, ces parcelles sont inoccupées (ancien immeuble toujours en place).

Au droit du site étudié (parcelles AX490 et 491), le projet d'aménagement correspond à soit un parvis avec stationnement aérien, soit la construction d'un bâtiment (sur vide-sanitaire ; absence de sous-sol) avec du stationnement et des commerces/bureaux en RdC, ainsi que du logement aux étages.

Par ailleurs, l'îlot Saint-Yves actuellement en friche doit présenter des immeubles de logements collectifs et des espaces de partie commune (stationnement, voirie, espaces verts ; selon les esquisses transmises par l'architecte ARCHIPOLE et datées du 21/09/2016).

A l'issue du diagnostic de pollution réalisé en 2018 (rapport GINGER BURGEAP référencé RSSPLB7590 et daté du 14/06/2018), des pollutions en hydrocarbures ont été relevées dans les sols et les eaux souterraines, aux abords notamment des cuves enterrées et ayant contenu des carburants (cuves localisées en-deçà du dallage de l'ancien atelier mécanique, au centre du site étudié).

Des investigations complémentaires de diagnostic de pollution ont été réalisées en mai-juin 2023, et pour le compte de l'EPF BRETAGNE (rapport GINGER BURGEAP référencé R1025065 et daté du 15/09/2023). Ces investigations complémentaires ont permis de préciser la nature et les extensions des pollutions en hydrocarbures au droit du site étudié (néanmoins, incertitudes sur une éventuelle extension hors site de la pollution en hydrocarbures).

Le Plan de gestion des pollutions au droit du site étudié, a été émis le 07/11/2023 (rapport GINGER-BURGEAP référencé 1052380-02, pour le compte de l'EPF BRETAGNE). Quatre scénarios de gestion des pollutions concentrées ont été estimés avec le confinement au droit d'un futur espace imperméable extérieur (parvis, parking), l'extraction multiphasique de la pollution en hydrocarbures (estimée à 335 k€ HT), l'oxydation chimique in situ (estimée à 405 k€ HT), ainsi que l'excavation/évacuation en filière adaptée associée à une biodégradation in situ de la pollution profondeur (550 k€ HT).

En outre, les essais en laboratoire de traitement des hydrocarbures (essais menés lors du 1^{er} semestre 2024) mettent en évidence une biodégradation aérobie limitée, mais une bonne efficacité de l'oxydation chimique à l'aide du permanganate de sodium.

Aussi, des essais d'injection in situ d'oxydant ont été menés en décembre 2024, par GINGER BURGEAP et pour le compte de l'EPF BRETAGNE (résultats des essais en cours de traitement).

L'actualisation du Plan de Gestion des pollutions au droit des parcelles AX490 et 491, fait l'objet du présent rapport (prestations codifiées A270 et PG de la norme NF X 31-620-2).

1.2 Codification des prestations

La présente proposition est conforme à la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués d'avril 2017 et aux exigences de la norme **AFNOR NF X 31-620 1, 2 et 5 : décembre 2018 - « Qualité du sol - Prestations de services relatives aux sites et sols pollués »**, pour le domaine A : « Etudes, assistance et contrôle » et le domaine D : « Attestation de prise en compte des mesures de gestion de la pollution des sols et des eaux souterraines dans la conception des projets de construction ou d'aménagement ».

Prestations élémentaires (A) concernées	Objectifs	Prestations globales (A) concernées	Objectifs
<input type="checkbox"/> A100	Visite du site	<input type="checkbox"/> AMO en phase études	Assister et conseiller son client pendant tout ou partie de la durée du projet, en phase études.
<input type="checkbox"/> A110	Etudes historiques, documentaires et mémorielles	<input type="checkbox"/> LEVE Levée de doute	Le site relève-t-il de la politique nationale de gestion des sites pollués, ou bien est-il « banalisable » ?
<input type="checkbox"/> A120	Etude de vulnérabilité des milieux	<input type="checkbox"/> INFOS	Réaliser les études historiques, documentaires et de vulnérabilité, afin d'élaborer un schéma conceptuel et, le cas échéant, un programme prévisionnel d'investigations.
<input type="checkbox"/> A130	Elaboration d'un programme prévisionnel d'investigations	<input type="checkbox"/> DIAG	Investiguer des milieux (sols, eaux souterraines, eaux superficielles et sédiments, gaz du sol, air ambiant...) afin d'identifier et/ou caractériser les sources potentielles de pollution, l'environnement local témoin, les vecteurs de transfert, les milieux d'exposition des populations et identifier les opérations nécessaires pour mener à bien le projet
<input type="checkbox"/> A200	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les sols	PG Plan de gestion dans le cadre d'un projet de réhabilitation ou d'aménagement d'un site <input checked="" type="checkbox"/>	Etudier, en priorité, les modalités de suppression des pollutions concentrées. Cette prestation s'attache également à maîtriser les impacts et les risques associés (y compris dans le cas où la suppression des pollutions concentrées s'avère techniquement complexe et financièrement disproportionnée) et à gérer les pollutions résiduelles et diffuses. Réalisation d'un bilan coûts-avantages (A330) qui permet un arbitrage entre les différents scénarios de gestion possibles (au moins deux), validés d'un point de vue sanitaire (A320). Préconisations sur la nécessité de réaliser, ou non, les prestations un plan de conception des travaux (PCT), un contrôle de la mise en œuvre des mesures (CONT), un suivi environnemental (SUIVI), la mise en place de restrictions d'usage et la définition des modalités de leur mise en œuvre. Précision des mécanismes de conservation de la mémoire en lien avec les scénarios de gestion proposés
<input type="checkbox"/> A210	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les eaux souterraines		
<input type="checkbox"/> A220	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les eaux superficielles et/ou les sédiments		
<input type="checkbox"/> A230	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les gaz du sol		
<input type="checkbox"/> A240	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur l'air ambiant et les poussières atmosphériques	IEM <input type="checkbox"/> Interprétation de l'Etat des Milieux	La prestation IEM est mise en œuvre en cas de la mise en évidence d'une pollution historique sur une zone où l'usage est fixé (installation en fonctionnement, quartier résidentiel, etc.), la mise en évidence d'une pollution hors des limites d'un site, un signal sanitaire Comparable à une photographie de l'état des milieux et des usages, la prestation IEM vise à s'assurer que l'état des milieux d'exposition est compatible avec les usages existants [9]. Elle permet de distinguer les situations qui ne nécessitent aucune action particulière, peuvent faire l'objet d'actions simples de gestion pour rétablir la compatibilité entre l'état des milieux et leurs usages constatés, nécessitent la mise en œuvre d'un plan de gestion
<input type="checkbox"/> A250	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les denrées alimentaires		
<input type="checkbox"/> A260	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les terres excavées		
<input type="checkbox"/> A270	Interprétation des résultats des investigations		
<input type="checkbox"/> A300	Analyse des enjeux sur les ressources en eaux	<input type="checkbox"/> SUIVI	Suivi environnemental
<input type="checkbox"/> A310	Analyse des enjeux sur les ressources environnementales	<input type="checkbox"/> BQ Bilan quadriennal	Interpréter les résultats des données recueillies au cours des quatre dernières années de suivi Mettre à jour l'analyse des enjeux concernés par le suivi sur la période sur les ressources en eau, environnementales et l'analyse des enjeux sanitaires
<input checked="" type="checkbox"/> A320	Analyse des enjeux sanitaires	<input type="checkbox"/> CONT Contrôles	Vérifier la conformité des travaux d'investigation ou de surveillance Contrôler que les mesures de gestion sont réalisées conformément aux dispositions prévues
<input checked="" type="checkbox"/> A330	Identification des différentes options de gestion possibles et réalisation d'un bilan coûts/avantages	<input type="checkbox"/> XPER	Expertise dans le domaine des sites et sols pollués
<input type="checkbox"/> A400	Dossiers de restriction d'usage, de servitudes	VERIF <input type="checkbox"/> Evaluation du passif environnemental	Effectuer les vérifications en vue d'évaluer le passif environnemental lors d'un projet d'acquisition d'une entreprise
		Prestation globale (D) concernée	Objectifs
		<input type="checkbox"/> ATTES-ALUR	Attestation à joindre aux demandes de permis de construire (PC) ou d'aménager dans les secteurs d'information sur les sols (SIS) ou au second changement d'usage (loi ALUR).

1.3 Documents de référence et ressources documentaires

Tableau 1 : Documents de référence

Document consulté (codification selon la norme NF X31-620)	Auteur	Référence du document	Date
Etude pré-opérationnelle pour la restructuration de l'îlot Saint-Yves (voir Annexe 1)	ARCHIPOLE pour le compte de la Ville de Quimperlé et de l'OPAC du Finistère	FC	21/09/2016
Etude historique et documentaire (phase 1 : INFOS)	BURGEAP pour le compte de l'EPF BRETAGNE	RSSPLB5764-01	07/10/2016
Site SNCF RESEAU - Evaluation environnementale - Investigations sur les sols	SOLER Environnement pour le compte de NEXITY PM (pour SNCF RESEAU)	E SE REN 2016 00597 02 a EVAL (version définitive non transmise)	28/10/2016
Diagnostic environnemental des sols (phase 2 : A270-AMO)	BURGEAP pour le compte de l'EPF BRETAGNE	RSSPLB6246-01	10/01/2017
Diagnostic complémentaire de pollution (phase 2 : A270-AMO)	BURGEAP pour le compte de l'EPF BRETAGNE	RSSPLB7590-01	14/06/2018
Investigations de diagnostic de pollution (A200-A210-A230)	SOCOTEC pour le compte de l'EPF BRETAGNE	E14Q523516 (version provisoire)	16/06/2023
Diagnostic complémentaire de pollution (phase 2 : A270-AMO) (voir extraits en Annexe 2)	GINGER BURGEAP pour le compte de l'EPF BRETAGNE	R1025065-01	15/09/2023
Plan de Gestion des pollutions (PG)		R1052380-02	07/11/2023
Essais au laboratoire d'oxydation chimique et de biodégradation aérobie (B111)		R1075695-01	21/06/2024

Notons qu'à la date du document, les résultats des essais d'injection d'oxydant dans les sols (B112) sont en cours d'interprétation (résultats devant être transmis par le prestataire REMEA, en février 2025).

2. Présentation du site et de son environnement

2.1 Identification du site étudié

Tableau 2 : Identification du site étudié

Adresse du site	Ancien atelier mécanique sis 69, rue de Pont-Aven (Kervidanou) à QUIMPERLE (29)
Références cadastrales	Parcelles n°490 et 491 de section AX
Superficie totale	766 m²
Propriétaire	EPF BRETAGNE
Usage actuel	Site inoccupé et clos
Historique des activités	<ul style="list-style-type: none"> à partir des années 1940-50 : atelier mécanique (exploitant LE MEUR et enseigne RENAULT) associé à une station de distribution de carburants avec 2 cuves enterrées et compartimentées (capacités de 10 et 16 m³) ; en 2002 : acquisition par M. THOMAS et occupation de l'ancien atelier (cuves inertées à l'eau) par un cabinet d'assurance et un brocanteur ; en 2015-2016 : acquisition par M. LARDIC et occupation de l'ancien atelier pour du stationnement et un appartement à l'étage ; depuis 2020 : site inoccupé.
Altitude / Topographie (Figure 1 en page suivante)	+35 m NGF (Nivellement Général de la France). Terrain en légère pente vers le Nord-Est.
Abords du site	<p>Le site étudié s'inscrit dans un environnement urbanisé, avec :</p> <ul style="list-style-type: none"> au Nord et à l'Ouest : la rue de Pont Aven (Kervidanou) bordé de quelques commerces (bar-tabac, coiffeur, grossiste de pièces automobiles, etc.) et des maisons individuelles avec jardins ; à l'Est : une ancienne boulangerie (récemment fermée), quelques logements collectifs, des voies ferrées, puis le centre-ville de Quimperlé ; au Sud : le projet d'aménagement de l'îlot St-Yves (projet de logements collectifs), des maisons individuelles, puis le centre hospitalier de la Villeneuve.

2.2 Description succincte de l'environnement

D'un point de vue pédo-géologique, la succession des terrains au droit du site est la suivante :

- des remblais superficiels (origine non renseignée) ;
- en-deçà, une altérite limoneuse de plusieurs mètres d'épaisseur ;
- puis, la formation métamorphique de gneiss granitoïde hétérogène (à résidus orthogneissiques) présentant un aspect grossier et une teinte ocre à rosâtre (formation devant présenter des réseaux de fissures et fractures plus ou moins denses).

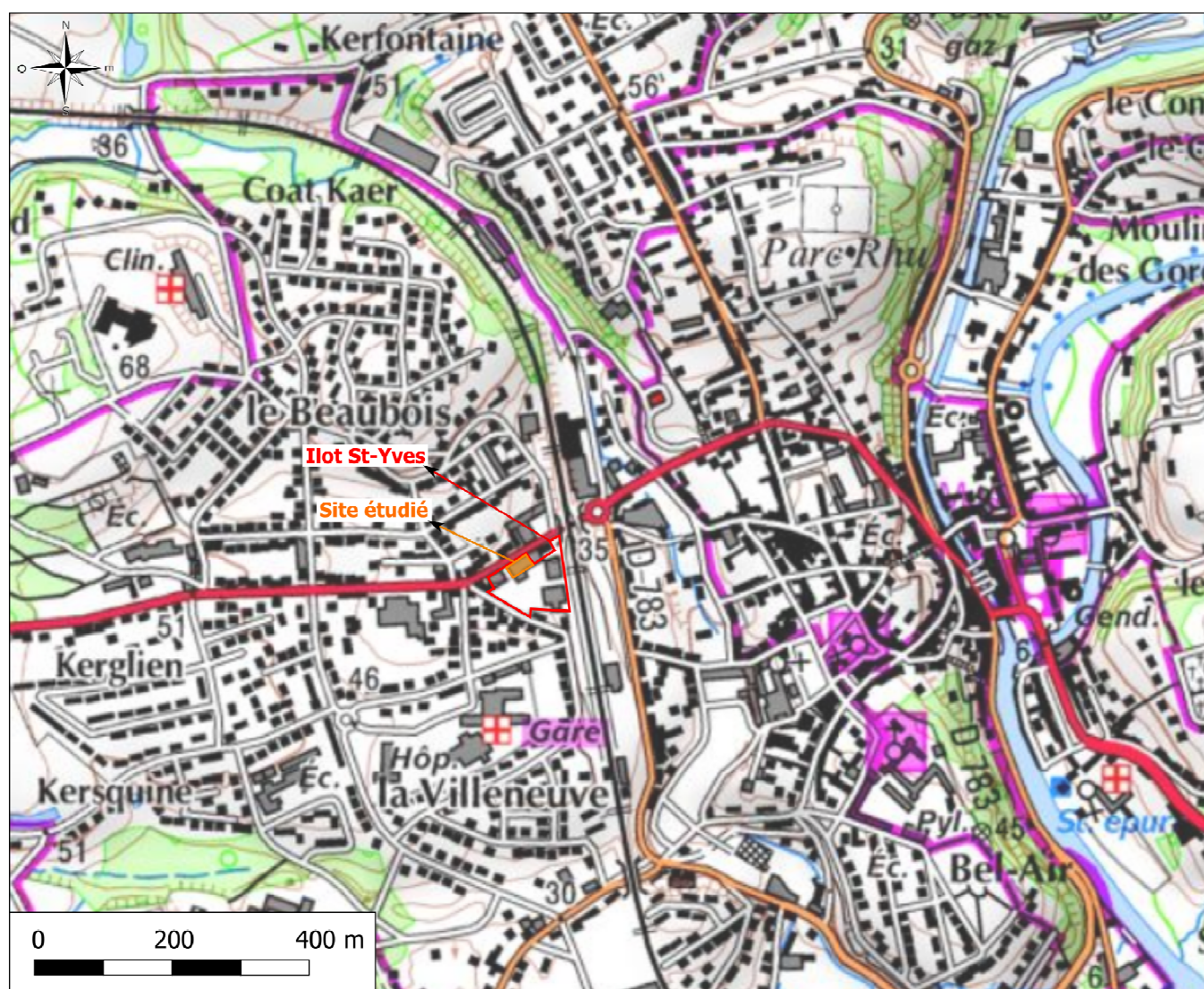
Dans ce contexte, la nappe souterraine au droit du site est probablement représentée par une nappe de subsurface essentiellement alimentée par les eaux météoritiques locales (au sein de l'arène plus ou moins compacte), et par une nappe de socle (au niveau des fissures et fractures du gneiss induré).

Les nappes de subsurface et de socle sont considérées vulnérables vis-à-vis de la pollution en provenance du site étudié. Néanmoins, elles sont considérées a priori peu sensibles, étant donné l'absence d'usage identifié en aval hydraulique par rapport au site (entre le site étudié et le ruisseau du Dourdu s'écoulant à environ 200 m à l'Est).

Sur le secteur, les eaux de ruissellement sont collectées et orientées dans le réseau communal d'eaux pluviales au niveau de la rue de Pont-Aven, pour être finalement rejetées dans *le ruisseau du Dourdu* à environ 200 m à l'Est, puis *la rivière de l'Ellé*. Soulignons qu'aucun séparateur d'hydrocarbures n'a été identifié au droit de l'ancien atelier mécanique (en parcelles AX490 et 491).

Compte tenu de leur proximité et d'activités nautiques et halieutiques s'y exerçant (qualité salmonicole reconnue), les eaux des cours d'eau du Dourdu et de l'Ellé sont à la fois considérées vulnérables et sensibles à une éventuelle pollution en provenance du site étudié.

Le site étudié n'est pas inclus dans une zone naturelle remarquable. Néanmoins, il présente une zone NATURA 2000 en aval hydraulique, à moins de 600 m, le long de *la rivière de l'Ellé*. Compte tenu de sa position en aval hydraulique, cette zone naturelle est considérée vulnérable vis-à-vis de la pollution en provenance du site étudié.



Fond : carte topographique au 1/25 000 (IGN®)

Figure 1 : Localisation du site étudié

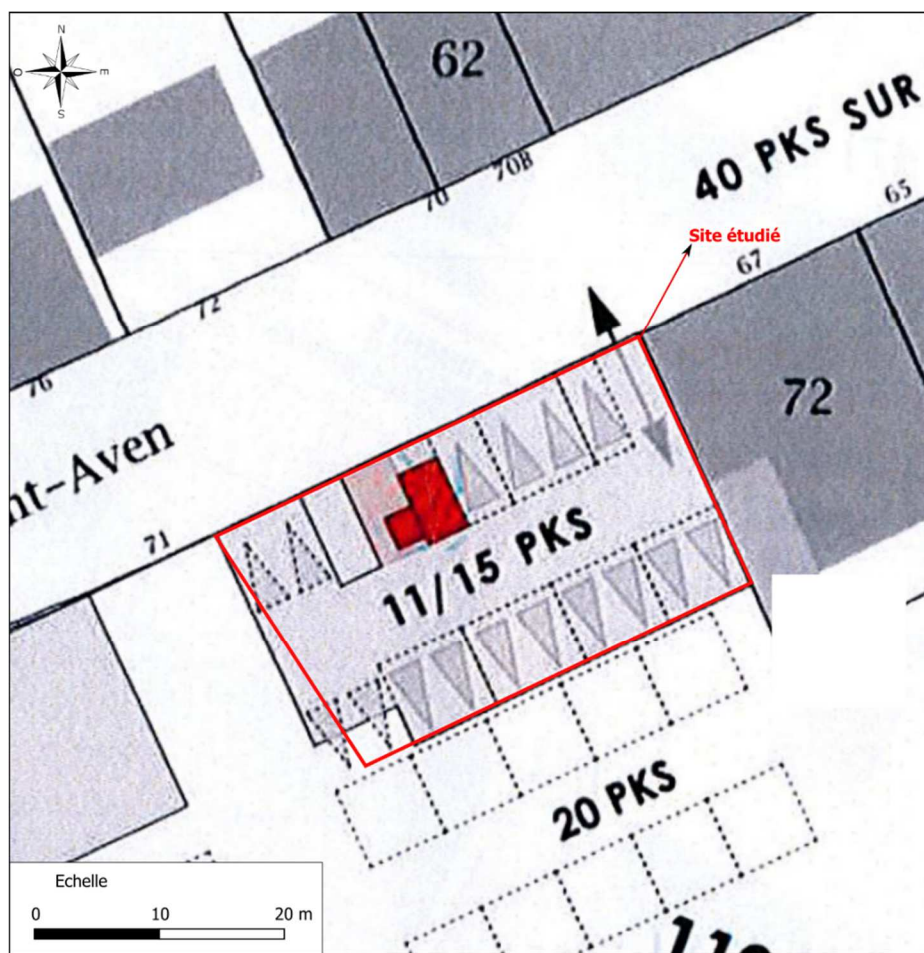
3. Présentation du projet d'aménagement

Associée à l'EPF BRETAGNE et l'OPAC de CORNOUAILLE, la Mairie de Quimperlé projette le réaménagement du site étudié correspondant aux parcelles AX490 et 491, avec :

- soit un nouveau bâtiment (absence d'espace extérieur, selon les esquisses de l'architecte ARCHIPOLE et datées du 21/09/2016 ; voir **Annexe 1** et extrait sur la figure suivante) avec :
 - en RdC sur vide-sanitaire (niveau de sous-sol non projeté) : du stationnement, quelques commerces/bureaux, et des locaux de partie commune (escalier, ascenseur, local des vélos, local des poubelles ; locaux figurés en rouge sur l'esquisse) ;
 - aux étages : des appartements ;
- soit un parvis piétonnier et une aire de stationnement aérien.

Dans ce cadre, aucun espace vert n'est envisagé et les eaux pluviales ne seront pas gérées par infiltration sur site.

Par conséquent, l'ensemble du site étudié doit bénéficier d'un recouvrement des sols en place (dalle bétonnée ou enrobé ; absence d'espace-vert ou de jardins en pleine terre).



Fond : architecte ARCHIPOLE, le 21/09/2016

Figure 2 : Esquisse du projet de bâtiment (ARCHIPOLE, 21/09/2016)

4. Synthèse des études environnementales antérieures

4.1 Synthèse de l'étude historique (2016)

Les données recueillies en 2016 (BURGEAP) ont permis d'identifier au droit des parcelles AX490 et 491, la succession des activités suivantes (voir figure en page suivante) :

- avant 1950 : des jardins potagers et/ou vergers (présence d'un mur de soutènement en limite Sud des parcelles) ;
- dans les années 1950 : la construction d'un bâtiment sur l'emprise du site étudié (propriété et exploitant LE MEUR), avec :
 - en rez-de-chaussée : une station de distribution de carburants, un atelier mécanique (enseigne RENAULT) disposant de 2 cuves enterrées de carburants, d'établis et d'une aire de lavage avec une fosse, ainsi qu'une 2^{ème} fosse pour les vidanges.

Notons que ces anciennes activités (atelier mécanique et stockage de carburants) étaient soumises à déclaration au titre de la législation sur les ICPE (récépissés de déclaration de 1960s) ;
- en N+1 de la parcelle n°491 : des logements (chauffage au gaz de ville) ;
- avant 2022 : l'arrêt des activités de garage automobile et de station de distribution de carburants (cuves inertées à l'eau). Aussi, l'acte de cessation définitive des activités classées ICPE n'a pas été retrouvé en 2016 ;
- en janvier 2002 : l'acquisition par M. THOMAS et l'occupation de l'accueil et des bureaux par un cabinet d'assurance, ainsi que de l'ancien atelier mécanique par un brocanteur ;
- en 2015-2016 :
 - en parcelle n°490 : l'acquisition par M. LARDIC et l'occupation du local pour le stationnement ;
 - en parcelle n°491 : l'absence d'activité (débarra dans l'ancien atelier ; cuves et canalisations non démantelées) excepté à l'étage avec des appartements en location.

Plusieurs activités/installations potentiellement polluantes ont donc été identifiées. Elles sont listées et localisées dans le tableau suivant et sur la figure en page suivante.

Tableau 3 : Installations potentiellement polluantes au droit du site

Parcelle	Source potentielle de pollution (voir figure en page suivante)	Nature du recouvrement et éventuel constat
AX491	2 cuves enterrées de carburants (10 et 16 m ³ ; <u>non démantelées</u>) Anciens volucompteurs Zone de dépotage de carburants Atelier mécanique Aire de lavage avec compresseur et fosse de visite	<u>Souillures</u> relevées sur la dalle bétonnée
AX490	Atelier mécanique et fosse de visite	Souillure non relevée sur la dalle étonnée

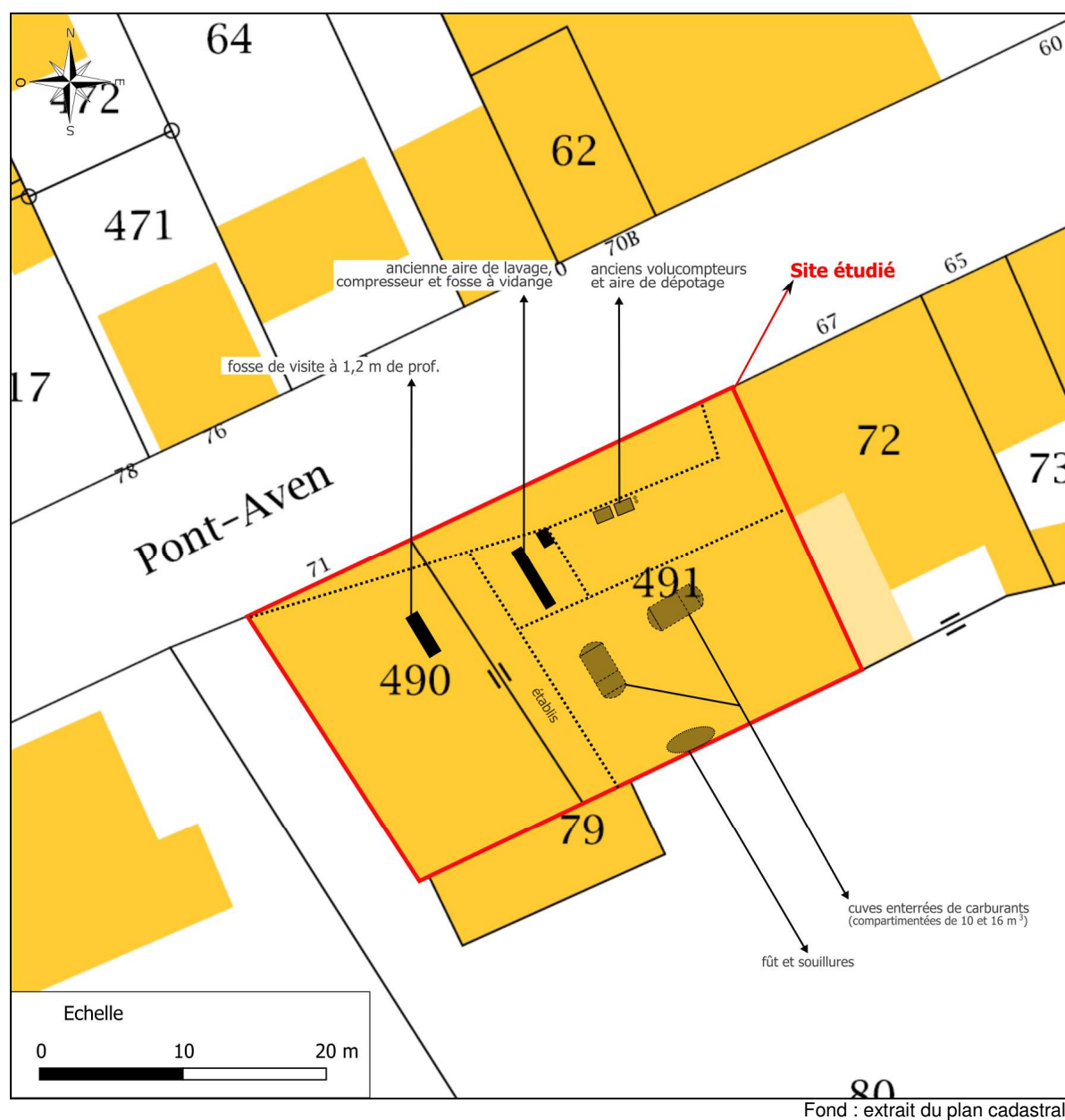


Figure 3 : Localisation des anciennes installations et sources potentielles de pollution

4.2 Synthèse de l'état environnemental du terrain au droit du site (en juin 2023)

La synthèse de l'état environnemental du terrain est réalisée à partir des investigations menées en novembre 2016 et février 2018 (HPC Envirotec), ainsi qu'en mai-juin 2023 (SOCOTEC), pour le compte de l'EPF BRETAGNE, et avec l'interprétation des résultats par GINGER BURGEAP.

Ainsi, les diagnostics de pollution ont concerné les sols, les gaz du sol et les eaux souterraines (une à deux campagnes en février 2018 et/ou juin 2023). Le détail des résultats obtenus dans le cadre de ces diagnostics (interprétation et figures), est inséré en **Annexe 2**.

La synthèse de ces diagnostics est présentée dans le tableau suivant et sur la **Figure 4** en page suivante.

Tableau 4 : Synthèse des impacts dans les différents milieux au droit des parcelles AX490 et 491

Source de pollution	Impact identifié dans les sols (teneurs maximales mesurées)	Impact identifié dans les eaux souterraines	Impact identifié dans les gaz du sol*	Cohérence entre milieux
<u>2 cuves enterrées à carburants</u> (sondages A1, A2, S1 à S4, S6, S11, C7)	Hydrocarbures volatils entre 0,3 et 4 m de profondeur (1 360 mg/kg en HCT ; 180,3 mg/kg en BTEX ; 10,7 mg/kg en benzène ; 33 mg/kg en naphtalène) <u>Incertitude sur l'extension au-delà de 4 m de profondeur</u>	Hydrocarbures sur Pz2 (en HCT : 1 26 mg/L en juin 2023 4,28 mg/L en fév.2018) Léger en Chlorure de vinyle (2,33 et 4,03 µg/L)	Hydrocarbures (piézairs A1 et/ou A2) 37,6 et 23,2 mg/m ³ en TPH 4,6 à 13,97 µg/m ³ en benzène PCE (2,4 à 11,8 µg/m ³) chloroforme (39,4 µg/m ³)	Oui
<u>Extension latérale de la pollution, à l'Est</u> <u>(Incertitude Hors site ?)</u> (sondages C3 et C4)	Hydrocarbures volatils entre 1 et 4 m de profondeur (248 mg/kg en HCT ; 13,5 mg/kg en BTEX ; 0,24-0,26 mg/kg en benzène ; 1,7-1,9 mg/kg en naphtalène)	RAS (piézomètre Pz4)	-	-
<u>Extension latérale de la pollution, au Sud</u> (sondage C5)	Hydrocarbures moyennement volatils entre 0,1 et 4 m de prof. (116 à 288 mg/kg en HCT ; 0,22 à 2,02 mg/kg en BTEX ; <LQ en benzène ; 0,86 mg/kg en naphtalène)	RAS (piézomètre Pz1)	-	-
<u>Anciens volucompteurs</u> <u>(Incertitude Hors site ?)</u> (sondages S7 et S8)	Hydrocarbures volatils entre 1,2 et 2 m de prof. (134 mg/kg en HCT ; 7,43 mg/kg en BTEX ; <LQ en benzène ; 5,5 mg/kg en naphtalène)	Léger impact en hydrocarbures sur Pz3 (en HCT : 0 385 mg/L en juin 2023 0,2 mg/L en fév.2018)	Hydrocarbures (piézair A3) en 2018 : 6,61 mg/m ³ en TPH 9,52 µg/m ³ en benzène RAS en juin 2023	Oui
<u>Ancien atelier mécanique</u> (sondage C4)	Hydrocarbures peu volatils entre 0,1 et 1 m de profondeur (848 mg/kg en HCT)	-	-	-
(sondage C5)	entre 0,1 et 1 m de profondeur (436 mg/kg en HCT)	-	-	-
<u>Ancien atelier mécanique en parcelle AX490</u> (sondage C6)	Hydrocarbures lourds entre 0,3 et 2 m de profondeur (1 490 à 4 070 mg/kg en HCT) Plomb (226 mg/kg) et cadmium (1,28 mg/kg) entre 0,3 et 1 m de prof.	RAS (piézomètre Pz5)	-	-
<u>Remblai à l'entrée de l'atelier</u> (sondage C2)	Plomb (613 mg/kg) entre 0,1 et 1 m de prof.	RAS (piézomètre Pz3)	-	-

* dans les gaz du sol, saturation des supports adsorbants (charbon actif) lors de l'échantillonnage sur les ouvrages A1, A2, GDS1 et GDS2, induisant potentiellement une sous-estimation des concentrations en hydrocarbures.

HCT : indice hydrocarbures C₁₀-C₄₀

TPH : total petroleum hydrocarbons

BTEX : benzène, toluène, éthylbenzène, xylènes

PCE : tétrachloroéthylène

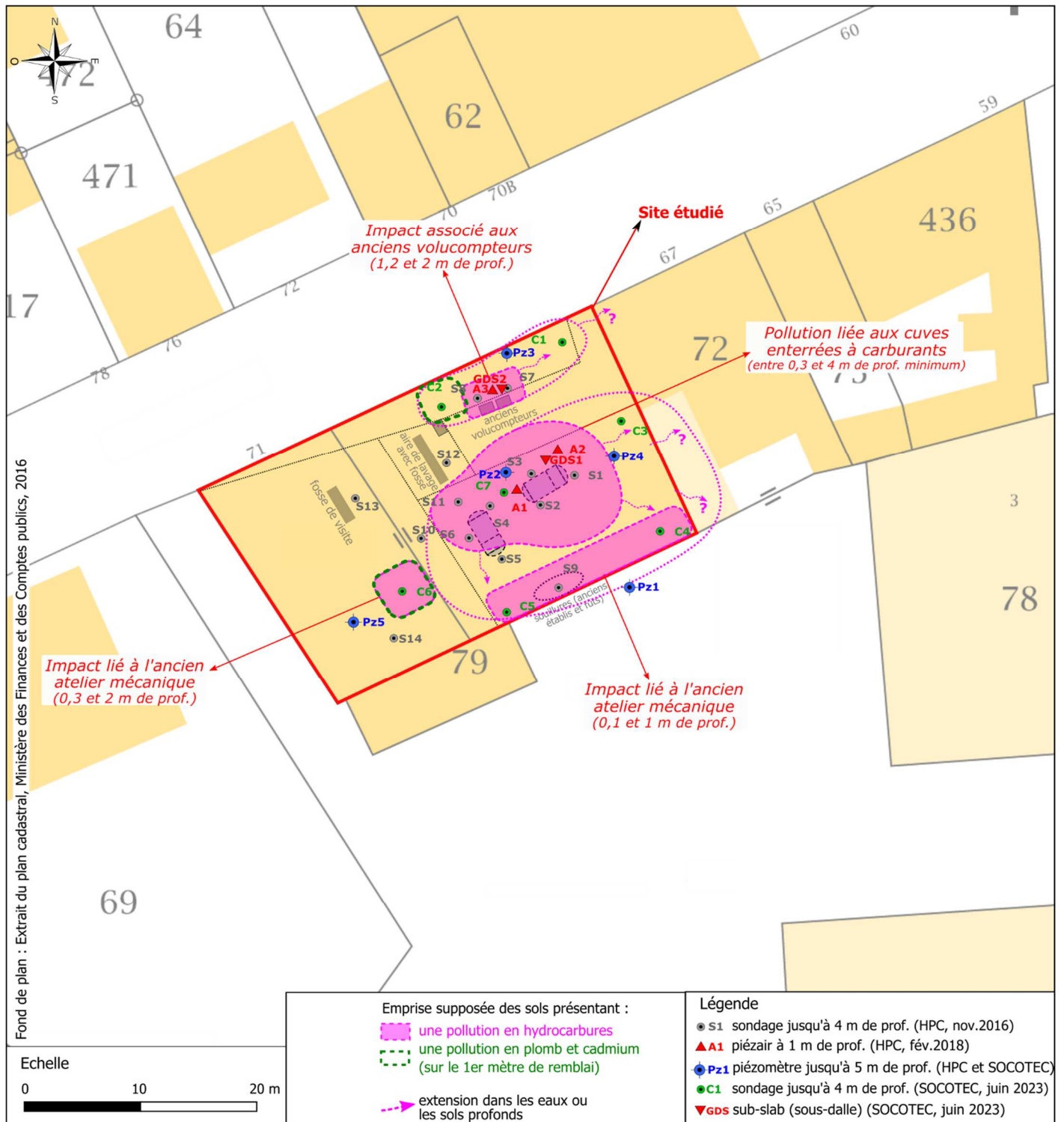


Figure 4 : Localisation des sols reconnus pollués au droit du site (parcelles AX490 et 491)

5. Schéma conceptuel des usages futurs

Le schéma conceptuel est présenté et discuté dans le tableau suivant. Il est établi au droit de l'ancien atelier mécanique (parcelles AX490 et 491) et vis-à-vis des usages projetés.

Tableau 5 : Schéma conceptuel des usages futurs (sans mesures de gestion)

Projets d'aménagement (usages futurs)	<p>1. Projet de parvis piétonnier et de stationnements aériens ;</p> <p>2. Projet d'un nouveau bâtiment (esquisses datées du 21/09/2016 (Annexe 1)), avec :</p> <ul style="list-style-type: none"> en RdC (sur vide-sanitaire ; absence de sous-sol) : du stationnement, des commerces/bureaux et des locaux de partie commune (escalier, ascenseur, locaux des vélos et des poubelles) ; des appartements aux étages ; l'absence d'espace extérieur et d'espace vert. <p>L'ensemble du site doit ainsi bénéficier d'un recouvrement des sols en place (dalle ou enrobé). Aucun jardin potager (sous-entendu fruitier également) privé ou partagé, n'y est prévu.</p> <p>En outre, l'usage d'ERP sensible (comme une crèche) n'est pas envisagé au droit du site.</p>
Contexte environnemental et vulnérabilité des milieux à une pollution issue du site	<ul style="list-style-type: none"> Lithologie : <ul style="list-style-type: none"> sur 0,8 m d'épaisseur (localement, jusqu'à 1,5 m de profondeur (sondage S14)) : un remblai limoneux à limono sableux et graveleux, de couleur grise ; en-deçà, et jusqu'à 5 m de profondeur minimum (arrêt de forage) : des limons plus ou moins sableux, de couleur grise (parfois brune). Notons la présence de sables gris (sable encaissant des cuves enterrées ?) à partir de 3 m de profondeur sur les sondages S2, S4, S5 et S6. Hydrogéologie : une nappe semi-captive avec une humidité des sols identifiée à partir de 4 m de profondeur (en juin 2023), et des niveaux statiques mesurés entre 1,05 et 1,53 m de profondeur sur les piézomètres en juin 2023 (entre 0,4 et 1,6 m de prof. en février 2018) → <u>Vulnérabilité considérée forte des eaux souterraines.</u>
Pollutions identifiées	Voir la synthèse en chapitre 4.2 précédent.
Enjeux à considérer	<p>Les enjeux à considérer sur site sont les futurs usagers du site, avec :</p> <ol style="list-style-type: none"> <u>des adultes/enfants de passage</u> (projet de parvis) ; <u>des travailleurs et résidents adultes/enfants</u> (projet de logements aux étages et de bureaux/commerce en RdC). <p>Compte tenu des incertitudes sur les extensions hors site de la pollution et sur la nature des usages (projets d'aménagement envisagés à l'Est du site étudié), les enjeux hors-site ne sont traités dans la suite du document.</p>
Voies de transfert depuis les milieux impactés vers les milieux d'exposition	<p>Au droit des zones recouvertes par un bâtiment ou un revêtement spécifique (enrobé, etc.), la voie de transfert à considérer est la volatilisation des composés volatils.</p> <p>La perméation des composés vers les canalisations d'eau potable est également possible (projet de résidence).</p> <p>Compte tenu du recouvrement systématique des sols en place (dalle, enrobé), l'envol de poussières contenant des polluants et l'export de polluants par les eaux de ruissellement ne sont pas considérés.</p> <p>De plus, en l'absence de potager, le transfert vers les végétaux cultivés n'est pas retenu.</p>
Voies d'exposition sur site	<p>Au droit des zones recouvertes, la seule voie d'exposition à considérer est <u>l'inhalation de polluants volatils</u> issus du milieu souterrain (ZNS).</p> <p>De plus, les futurs résidents peuvent être exposés par <u>usage des eaux ayant transité dans les canalisations implantées dans les sols pollués.</u></p> <p>Au droit du site étudié, les voies d'exposition suivantes sont considérées supprimées :</p> <ul style="list-style-type: none"> l'inhalation de poussières ; l'ingestion de sols et poussières contenant des polluants ; l'ingestion de végétaux cultivés sur site.

Le schéma conceptuel des expositions est présenté sur les figures en pages suivantes.

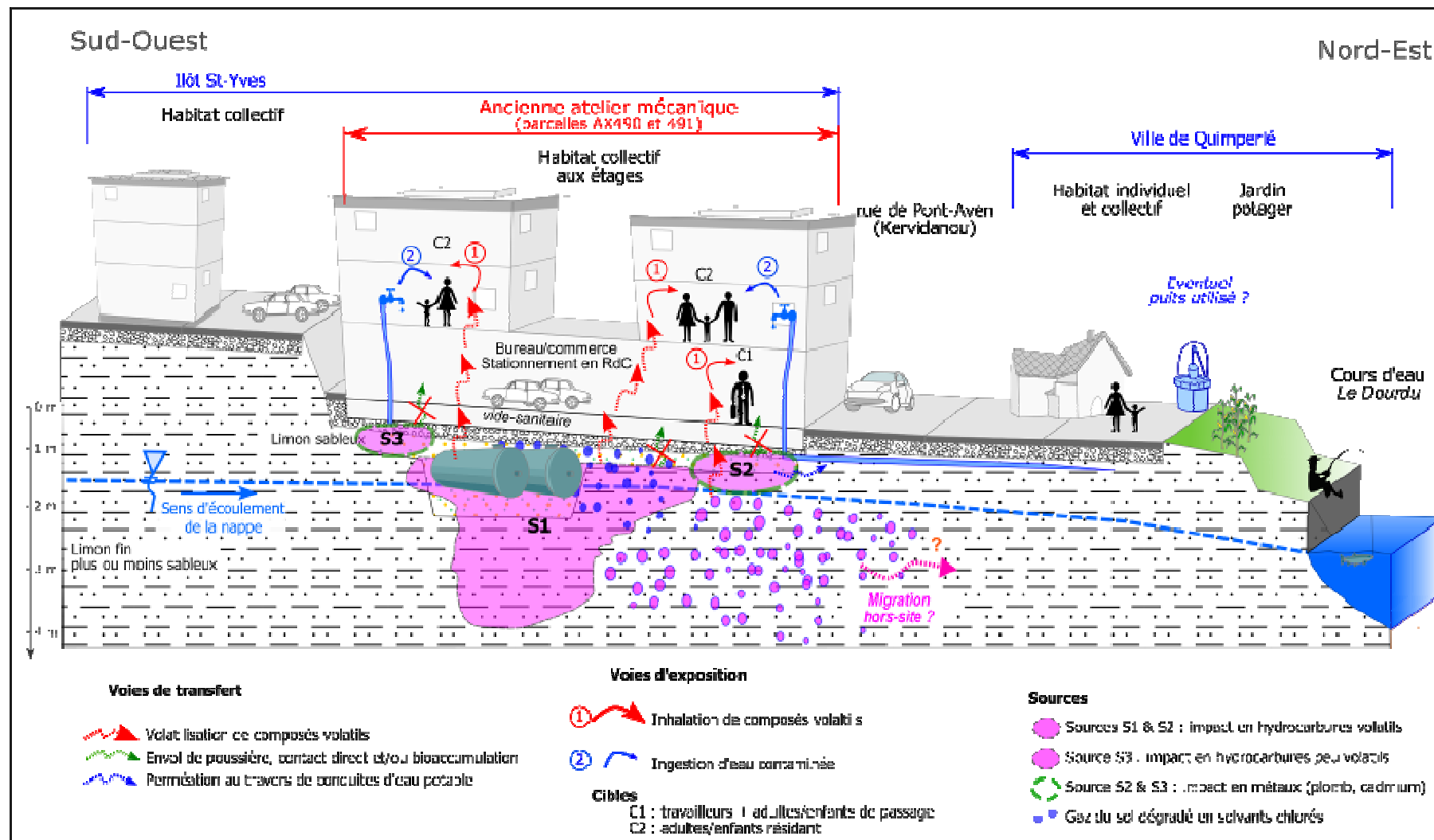


Figure 5a : Schéma conceptuel (usages d'habitat aux étages) - sans mesures de gestion

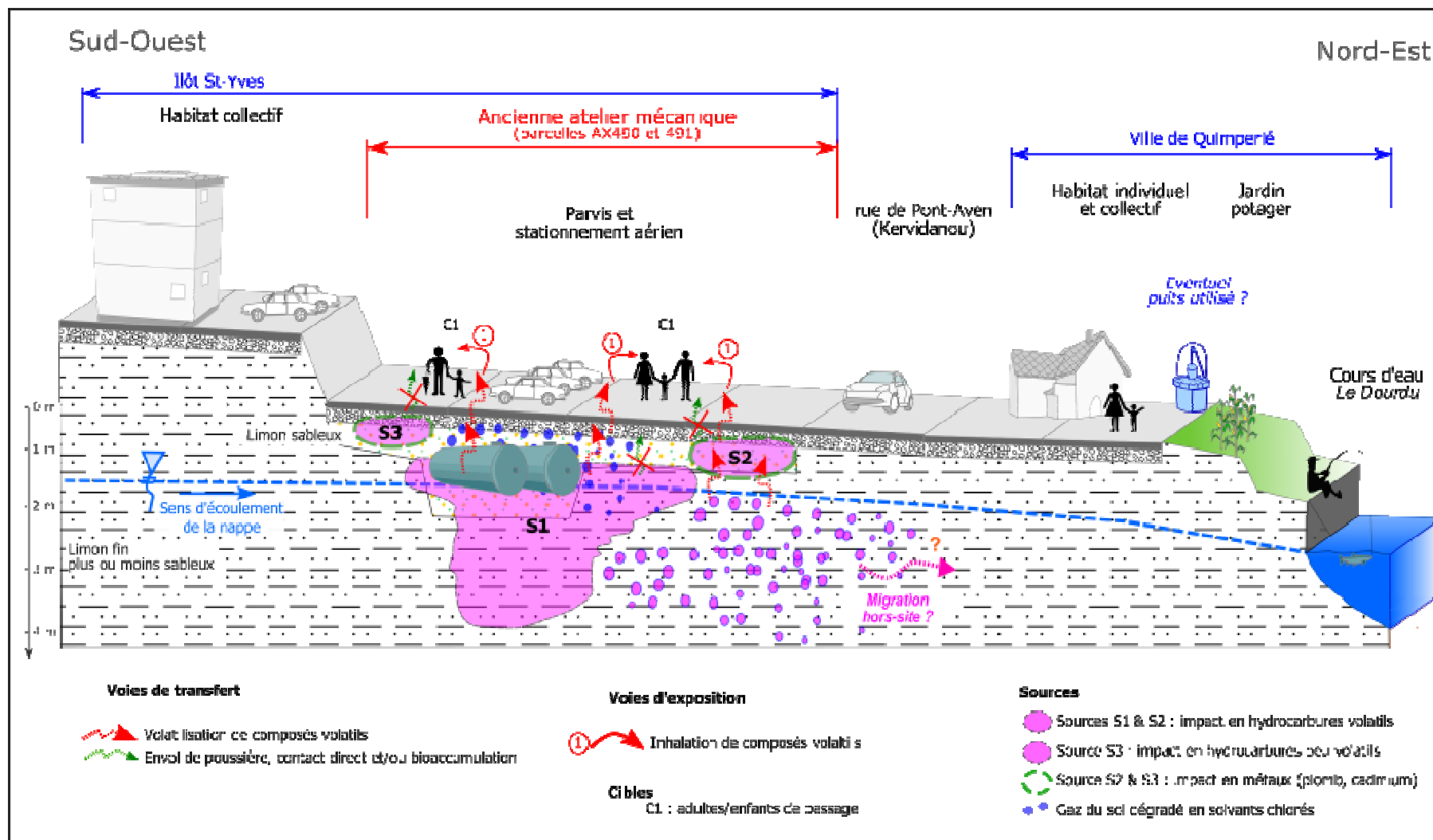


Figure 5b : Schéma conceptuel (usage futur de parvis) - sans mesures de gestion

6. Détermination des zones de pollution concentrée

6.1 Méthodologie nationale

6.1.1 Principes

La méthodologie nationale des sites et sols pollués d'avril 2017 stipule que « *Lorsque des pollutions concentrées sont identifiées (flottants sur les eaux souterraines, terres fortement imprégnées de produits, produits purs...), la priorité consiste d'abord à déterminer les modalités de suppression des pollutions concentrées plutôt que d'engager des études pour justifier leur maintien en l'état, en s'appuyant sur la qualité dégradée des milieux ou sur l'absence d'usage de la nappe* ».

A l'issue des différentes études réalisées sur le site, il s'avère nécessaire de mettre en œuvre des mesures de gestion concernant les impacts identifiés sur le site. D'une manière générale, ces mesures peuvent consister en :

- des travaux de traitement des sources de pollution concentrée conformément à la méthodologie nationale de 2017 ;
- des mesures organisationnelles (gestion en phase chantier, surveillance) pour veiller à la bonne mise en œuvre de ces prescriptions ;
- la mise en œuvre de paramètres constructifs spécifiques (vide de construction, vide sanitaire, canalisation anti-perméation, membrane étanche, recouvrement des sols, etc.) ;
- la proposition d'éventuelles restrictions d'usage.

Ces travaux nécessitent la prise en compte des pollutions chimiques des sols mises en évidence et donc leur remise en état. La remise en état d'un site n'a pas pour objectif d'éliminer toute trace de polluants dans les sols, mais de ramener la qualité du terrain dans un état sanitaire compatible avec sa reconversion, ce qui suppose la détermination d'objectifs de traitement tant sur le plan technique que sur le plan économique.

En effet, lorsqu'ils ne sont pas techniquement irréalisables, ces objectifs ne doivent pas engendrer des investissements financiers disproportionnés par rapport à la valeur foncière du site.

6.1.2 Notion de sources - transfert - cibles

Pour qu'il y ait un risque sanitaire, il faut qu'existent simultanément une source de pollution, un moyen de transfert de celle-ci et une cible (ou un enjeu).

Généralement, une source de pollution peut être un dépôt de déchets ou de produits liquides, des sols ou un aquifère pollué, des rejets aqueux ou atmosphériques.

Le transfert d'une pollution entre la source et la cible peut se faire par écoulement gravitaire, par percolation des pluies, par ruissellement de surface, par migration suivant l'écoulement des nappes phréatiques, par dispersion du vent, par dégazage de l'air.

Enfin, la cible (ou l'enjeu) d'une pollution sera :

- soit une population, exposée directement au contact de la pollution ou indirectement via un captage d'eau par exemple ;
- soit une ressource naturelle à protéger (nappe phréatique, réserve écologique...).

Pour supprimer le risque sanitaire, il est possible d'agir sur la source et/ou la voie de transfert et/ou la cible :

- agir à la source consiste à réduire ou éliminer le stock de polluants en éliminant des déchets, en traitant les sols ou la nappe phréatique, en contrôlant les rejets ;
- supprimer une voie de transfert, par exemple en confinant une pollution dans un « *sarcophage* » étanche ou recouvrir un sol pollué par des métaux (hors mercure volatil) avec de la terre saine, un revêtement de bitume ou construire un sous-sol ou un vide sanitaire.

6.1.3 Zone de pollution concentrée

Sur la base des principes édictés dans la méthodologie nationale d'avril 2017 relative à la gestion des sites pollués, la réhabilitation d'un site nécessitera dans tous les cas de procéder à des travaux ayant *a minima* pour objectif de traiter les zones de pollution concentrée, à savoir :

- les cuves, canalisations, cavités, dans lesquelles ont pu s'accumuler des produits indésirables ;
- les sols présentant de fortes anomalies de concentration.

La notion de « *forte anomalie de concentration* » dépend de la qualité générale du site.

Une pollution concentrée est définie comme le volume de milieu souterrain à traiter, délimité dans l'espace, au sein duquel les concentrations en une ou plusieurs substances sont significativement supérieures aux concentrations de ces mêmes substances à proximité immédiate de ce volume.

L'interprétation des résultats de diagnostics doit être faite selon :

- les constats de terrain/indices organoleptiques ;
- une méthode d'interprétation cartographique ;
- la réalisation d'un bilan massique.

Des seuils de coupure, qui délimitent une zone de pollution concentrée, sont déterminés selon *a minima* deux méthodes concordantes, parmi :

- Méthode 1 : interprétation des constats de terrain ;
- Méthode 2 : interprétation cartographique ;
- Méthode 3 : étude de la distribution des polluants au droit du site ;
- Méthode 4 : bilan massique ;
- Méthode 5 : détermination de la présence d'une phase organique dans les sols (utilisation du logiciel OREOS) ;
- Méthode 6 : approche géostatistique.

Dans le présent Plan de gestion et compte tenu de la densité de données disponibles sur la qualité environnementale des sols (plus de 40 échantillons analysés au total), les méthodes 1 et 2 seront appliquées en association avec la méthode 3, au droit du site étudié.

Notons que les investigations complémentaires menées en mai-juin 2023 (SOCOTEC) permettent de partiellement circonscrire les pollutions en hydrocarbures dans les sols aux abords des cuves enterrées de carburants, aucun nouvel impact n'étant identifié dans le sous-sol au droit du site étudié. Rappelons que les campagnes menées sur les eaux souterraines ne mettent en évidence qu'une légère dégradation en hydrocarbures en aval par rapport à l'ancienne station-service (piézomètres Pz3 et Pz4).

Ces différentes approches et les seuils de coupure ainsi déterminés, sont présentés dans les paragraphes suivants.

6.2 Détermination des seuils de coupure

6.2.1 Applicabilité aux composés à l'origine des impacts

Le Plan de gestion et la détermination des seuils de coupure seront établis et appliqués aux composés ayant été identifiés et quantifiés lors des diagnostics, à savoir : **les hydrocarbures C₁₀-C₄₀ et la somme des BTEX.**

6.2.2 Interprétation des constats de terrain (méthode 1) et approche cartographique (méthode 2)

Cette approche des constats de terrain (méthode 1) est simple à mettre en pratique et consiste à interpréter les constats effectués lors des investigations sur les sols, les gaz des sols et/ou les eaux souterraines.

Ces constats sont par exemple :

- observation visuelle des sols/eaux (couleur, sol imbibé de phase organique, déchets, etc.) ;
- mesures semi-quantitatives de composés volatils (PID, etc.) ;
- détection de présence de phase organique flottante (LNAPL) ou coulante (DNAPL) dans un piézomètre et définition de son épaisseur ;
- profondeur des observations et mesures citées ci-dessus.

Ces informations permettent notamment d'appréhender l'étendue spatiale des anomalies :

- couches de terrain présentant visuellement des anomalies fortes ;
- présence de phase organique dans les sols ou dans les eaux souterraines.

L'approche cartographique (méthode 2) croise les constats de terrains aux analyses réalisées en laboratoire sur les différents milieux, de façon à obtenir une interprétation cartographique des zones dans lesquelles une pollution concentrée est présente.

La synthèse et les étendues des zones de pollution « *par tranche de sol* », sont présentées sur les **Figure 6** (constats de terrain) et **Figure 7** (analyses en laboratoire) en pages suivantes.

Les coupes de terrain pollué sont établies en 1^{ère} approche, par profondeur depuis la surface jusqu'à 4-5 m de profondeur (dernier échantillon contaminé) et par intervalle de 1-2 m. Cette approche est à la fois appliquée aux constats de terrain (mesures au PID et constats d'odeur notamment) et aux résultats d'analyses obtenus dans les sols.

Les profils ainsi obtenus permettent de délimiter les zones de pollution concentrée en hydrocarbures, avec les hypothèses suivantes :

- pour les extensions latérales, la limite se situe à équidistance des sondages reconnus pollués ou non : une cohérence est observée entre les résultats d'analyses et les constats de terrain (notamment avec de fortes odeurs d'hydrocarbures et des mesures au PID atteignant 220 ppmV aux abords des cuves à carburants).

Seul le sondage C6 localisé au droit de l'ancien atelier mécanique (parcelle AX490), présente des teneurs significatives en hydrocarbures faiblement volatils (entre 1 490 et 4 070 mg/kg) sans constat de terrain rapporté.

Notons l'incertitude de l'extension de la pollution en hydrocarbures hors site, notamment à l'Est et au Sud-Est du site étudié (au droit de la rue de Pont-Aven, de la parcelle AX72 voisine et au-delà) ;

- pour les extensions verticales, les concentrations significatives sont globalement relevées :
 - en hydrocarbures considérés faiblement volatils, sur le 1^{er} mètre de remblais au droit de l'ancien atelier mécanique (sondages A2, C4, C5 et C6). Seuls les sondages C6 et S11 présentent des extensions de pollution faiblement volatile jusqu'à 2 m de profondeur ;

- en hydrocarbures volatils, de type essence (notamment avec des teneurs significatives en BTEX), sur le 1^{er} mètre (sondages A1, S4 et S6 par défaut), puis jusqu'à 4 m de profondeur sur de nombreux sondages autour des cuves enterrées et en aval supposé (sondage C3). L'emprise supposée maximale de la pollution en hydrocarbures est relevée entre 1 et 2 m de profondeur, correspondant au niveau de nappe souterraine mesuré en juin 2023 (entre 1,05 et 1,53 m de profondeur au droit du site).

Notons l'incertitude sur l'extension de l'impact en hydrocarbures au-delà de 4 m de profondeur.

De plus, une pollution en hydrocarbures volatils est identifiée au droit des anciens volucompteurs, mais supposée peu étendue (entre 1 et 2 m de profondeur sur le sondage S8).

► Bilan :

Les méthodes 1 et 2 d'interprétation cartographique des constats de terrain et des analyses, permettent d'identifier des zones de pollution concentrée en hydrocarbures suivantes (sources-sols) :

- d'une part, au niveau **de certains remblais superficiels** de l'ancien atelier mécanique (hydrocarbures considérés non volatils), entre 0,1 et 1 m de profondeur, localement jusqu'à 2 m de profondeur ;
- et d'autre part, **sur plusieurs mètres d'épaisseur** au droit des cuves enterrées à carburants (globalement entre 0,3 et 4-5 m de profondeur). Cette pollution concentrée (hydrocarbures considérés volatils) est considérée étendue à la fois au niveau de la zone non saturée (ZNS) et de la zone saturée (ZS).

La migration de la pollution via la nappe souterraine est à considérer, notamment hors-site (impact en hydrocarbures relevé **en limite de site et de la parcelle AX72 voisine, entre 1 et 4 m de profondeur minimum**).

Compte tenu des répartitions des concentrations dans les sols, des seuils en indice C₁₀-C₄₀ de 500 mg/kg et de 6 mg/kg en BTEX (correspondant aux critères d'acceptation en ISD-Inertes), est estimé en 1^{ère} approche.

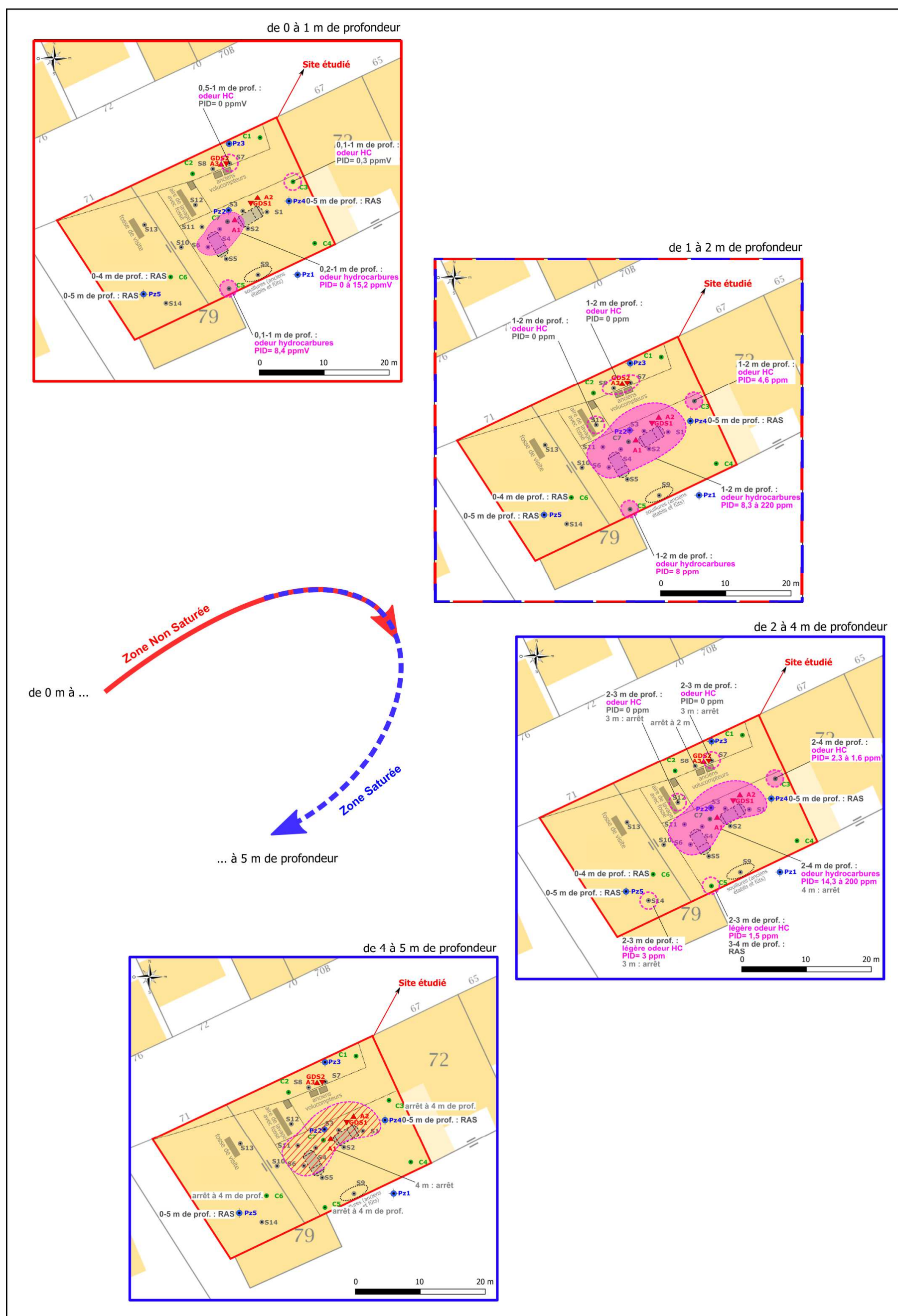


Figure 6 : Synthèse des constats suspects de terrain

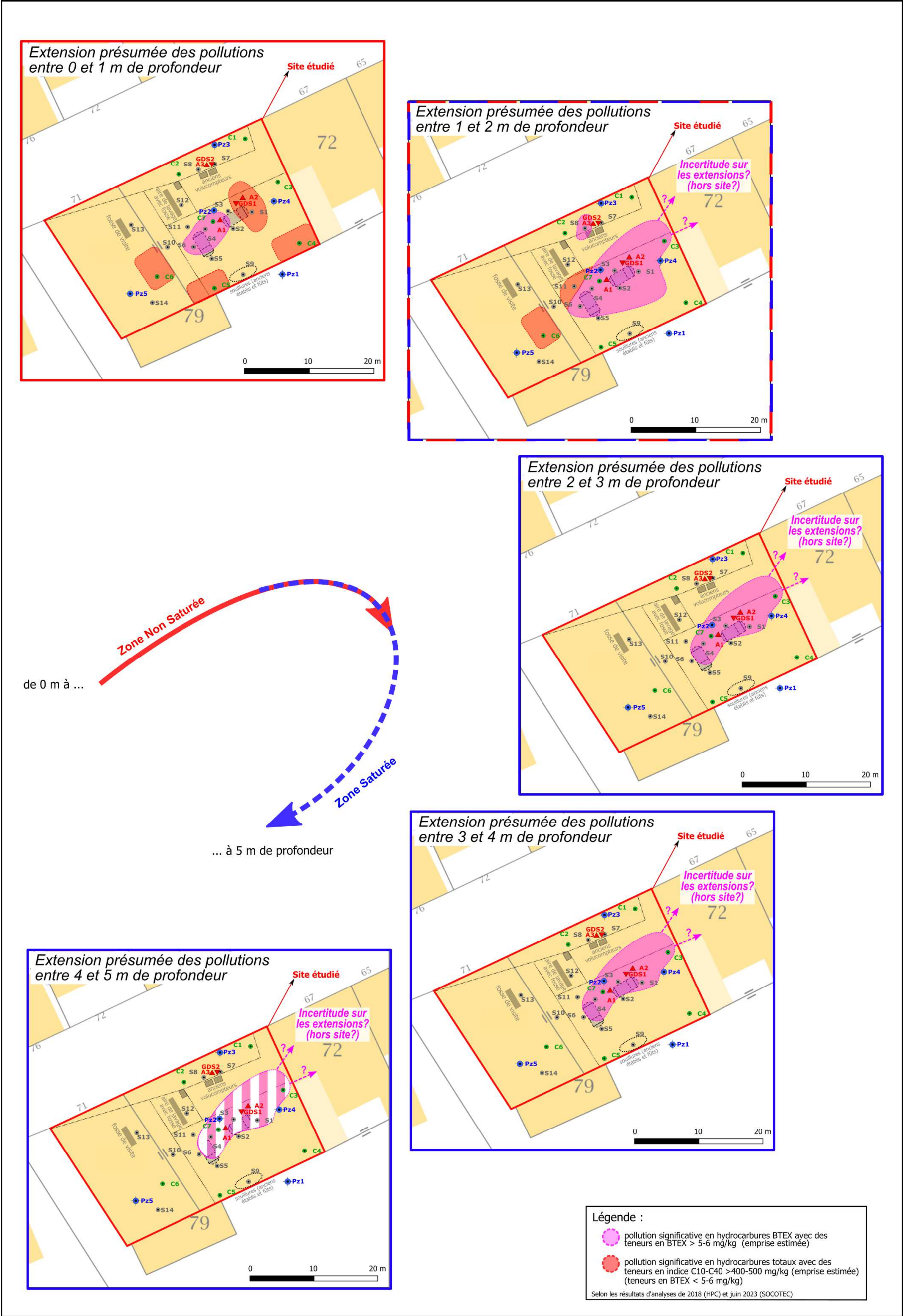


Figure 7 : Localisation des teneurs significatives (pollution concentrée) dans les sols

6.2.3 Détermination des seuils de coupure par approche statistique (Méthode 3)

Cette approche permet de caractériser le bruit de fond et/ou les concentrations anormales, en un polluant ou une famille de polluants, car significativement différentes de la distribution des concentrations de ce polluant ou famille de polluant (nuage de points).

Cette méthode doit permettre de distinguer les différentes populations de valeurs présentes et *in fine* de proposer un seuil de coupure (matérialisé par une rupture de pente) pour la pollution concentrée.

L'analyse statistique s'appuie sur plusieurs démarches :

- détermination des concentrations maximales, moyennes, médianes et quelques percentiles ;
- analyse des fréquences d'occurrence des concentrations [= f(concentration)].

La démarche d'analyse statistique est appliquée en 2^{ème} approche sur l'indice HC C₁₀-C₄₀ et les BTEX, au droit des cuves enterrées à carburants. Les résultats sont présentés dans les tableaux et graphiques suivants et page suivante.

Tableau 6 : Tableau d'analyse statistique des données pour l'indice HC C₁₀-C₄₀

Secteur des cuves enterrées de carburants	Médiane	Percentile 60	Percentile 75	Percentile 80	Percentile 90	Maximum	Nbre données
Somme des hydrocarbures C10-C40	161	194	546	699	816	1 360	31

Graphiques : Traitement statistique des résultats d'analyses pour l'indice HC C₁₀-C₄₀

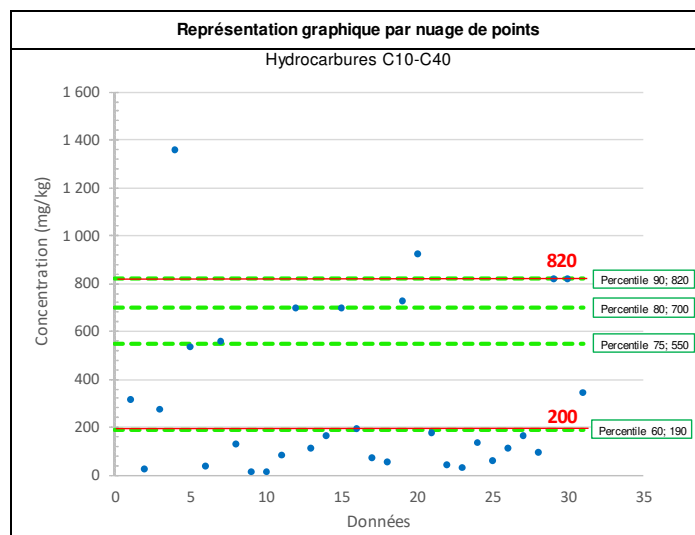
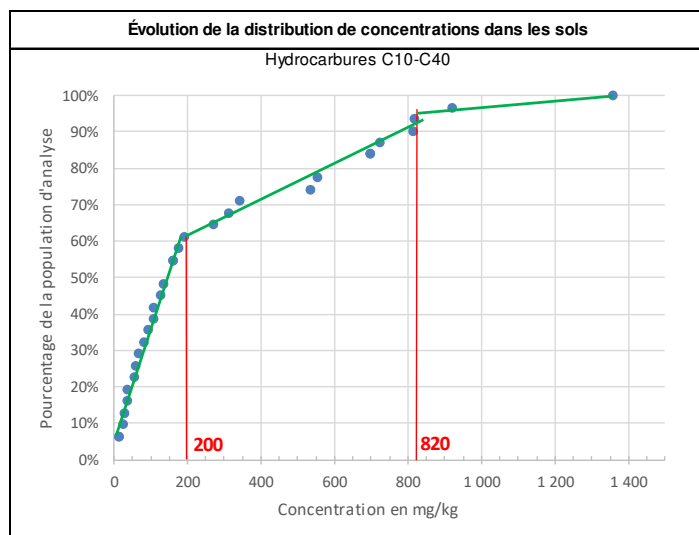
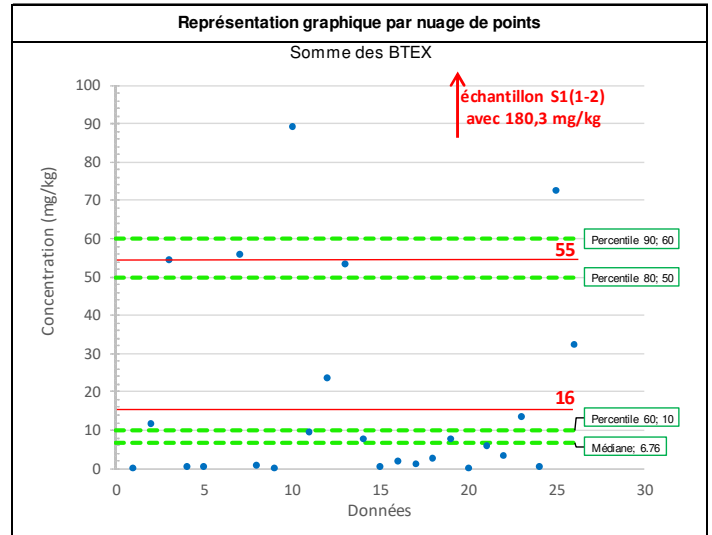
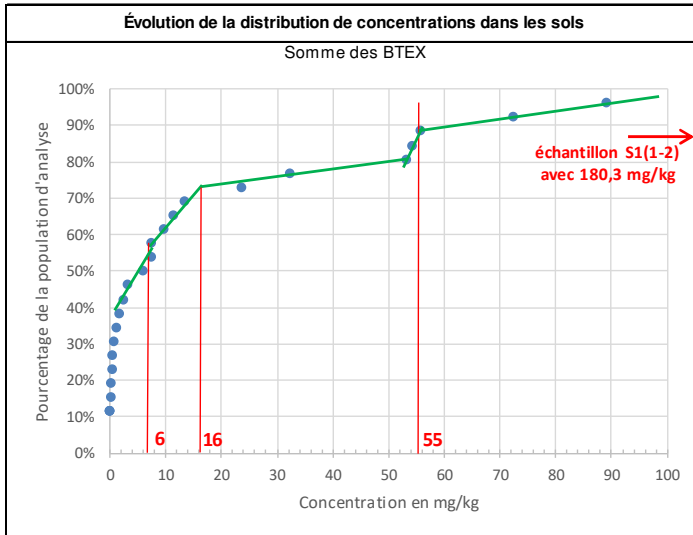


Tableau 7 : Tableau d'analyse statistique des données pour les BTEX

Secteur des cuves enterrées de carburants	Médiane	Percentile 60	Percentile 70	Percentile 80	Percentile 90	Maximum	Nbre données
Somme des BTEX	6.8	10	19	53	64	180	26

Graphiques : Traitement statistique des résultats d'analyses pour les BTEX



► Bilan :

Les données disponibles pour l'indice C₁₀-C₄₀ et les BTEX peuvent être considérées suffisamment abondantes sur le secteur de l'ancienne cuve enterrée à carburants (respectivement, 31 et 26 échantillons analysés) et ainsi valider la représentativité de cette méthode.

Sur la base des observations graphiques et de l'analyse statistique, les seuils de coupure définissant la zone concentrée sur le secteur de l'ancienne cuve enterrée à carburants, seraient établis :

- pour l'indice HC C₁₀-C₄₀ : entre 200 et 820 mg/kg, soit entre 60 et 90% des échantillons analysés qui seraient à traiter/dépolluer (entre les percentile 60 et percentile 90).

De plus, le seuil de 550 mg/kg en indice C₁₀-C₄₀ correspond environ au percentile 75 des teneurs (supérieures à la limite de quantification) obtenues sur le secteur des cuves à carburants ;

- pour les BTEX : entre 6 et 55 mg/kg, soit entre 50 et 90% des échantillons analysés qui seraient à traiter/dépolluer (entre la médiane et le percentile 90).

De plus, le seuil de 16 mg/kg en BTEX correspond environ au percentile 70 des teneurs (supérieures à la limite de quantification) obtenues sur le secteur des cuves à carburants.

6.2.4 Conclusion sur le choix des seuils de coupure

Compte tenu des conclusions et incertitudes des méthodes utilisées, nous retiendrons les seuils de coupure présentés dans le tableau suivant.

Tableau 8 : Choix des seuils de coupure (sur site)

Polluant	Seuils de coupure déterminés par différentes méthodes		Commentaires
	Interprétation des constats et approche cartographique	Approche statistique	
Hydrocarbures (Indice C₁₀-C₄₀)	500 mg/kg	Entre 200 et 820 mg/kg	En 1 ^{ère} approche, il est retenu le seuil de coupure de 500 mg/kg correspondant environ au seuil défini dans la Méthode 3 par « <i>nuage de points</i> », ainsi qu'au percentile 75 des teneurs obtenues sur le secteur des cuves à carburants. Ce seuil permet entre autres, la gestion des impacts en hydrocarbures considérés peu/pas volatils et relevés au niveau des sols superficiels (sondages S11, A2, C4 et C6) selon la répartition cartographique des teneurs (Méthode 2).
BTEX	6 mg/kg	Entre 6 et 55 mg/kg	Le seuil de coupure de 6 mg/kg est établi selon la répartition cartographique des constats suspects et des teneurs (Méthodes 1 et 2), et correspond au seuil le plus faible défini dans la Méthode 3 par « <i>nuage de points</i> ». De plus, le seuil de 6 mg/kg correspond environ à la médiane des teneurs (6,75 mg/kg) obtenues sur le secteur des cuves à carburants.

La compatibilité sanitaire de ces seuils avec le projet d'aménagement (usage futur), doit encore être vérifiée avec une analyse « *prédictive* » d'évaluation des risques sanitaires. Cette analyse est présentée et synthétisée dans le chapitre 8 du rapport « **Analyse des Risques Résiduels (ARR)** ».

Notamment, les objectifs de réhabilitation des sols intégreront probablement des seuils supplémentaires et spécifiques à certains BTEX (notamment pour le benzène considéré à la fois particulièrement toxique et volatil).

Au droit du site étudié (Parcelles AX490 et 491), les volumes de terres polluées et à gérer de manière spécifique, sont estimés en 1^{ère} approche à **(+ 30% d'aléa à prévoir sur les extensions)** :

- Concernant les hydrocarbures considérés faiblement volatils (de type huiles) :
 - 35 m³ de sols impactés** au droit de l'ancien atelier mécanique (repérés par le sondage C4, et sur 1 m d'épaisseur) ;
 - 120 m³ de sols impactés** au droit de l'ancien atelier en parcelle AX490 (repérés par le sondage C6, et sur 3 m d'épaisseur) ;
 - 70 m³ de sols impactés** au centre de l'ancien atelier (repérés par les sondages A2 et S11, jusqu'à 2 m d'épaisseur) ;
- Concernant les hydrocarbures volatils (de type essence) :
 - 1 105 m³ de sols impactés** sur le secteur des deux cuves à carburants (sur 5 m d'épaisseur par défaut (incertitude sur l'extension entre 4 et 5 m de profondeur)) ;
 - 40 m³ de sols impactés** au droit des anciens volucompteurs (repérés par le sondage S8, et sur 1 m d'épaisseur).

Notons que par rapport à un seuil de coupure de 820 mg/kg en indice C₁₀-C₄₀, l'adoption d'un objectif de 500 mg/kg (correspondant au critère d'acceptation en ISD-Inertes défini par l'Arrêté du 12/12/2014) induirait un volume supplémentaire de **seulement 40 m³ de sols pollués en hydrocarbures faiblement volatils** (notamment repérés par le sondage C5).

7. Plan de gestion du site

7.1 Méthodologie

Les objectifs généraux de la réhabilitation du site ont été déterminés en référence à :

- la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués rédigée par la Direction générale de la Prévention des Risques, Bureau du sol et du sous-sol, en avril 2017 ;
- le guide méthodologique du BRGM « *Quelles techniques pour quels traitements - Analyse coûts-bénéfices* » de juin 2010 ;
- l'expérience de BURGEAP et les retours d'expérience de la profession sur les techniques de dépollution ;
- le guide ADEME « *Taux d'utilisation et coût des différentes techniques et filières de traitement des sols et des eaux souterraines pollués en France* » d'octobre 2014.

Les objectifs du Plan de gestion sont de proposer et de justifier la stratégie de réhabilitation à mettre en œuvre pour d'une part, supprimer ou réduire les stocks de polluants présents dans le milieu souterrain, et d'autre part, restaurer la compatibilité entre la qualité des milieux au droit du site et l'usage futur, conformément à la méthodologie nationale de gestion des sites pollués du 19 avril 2017.

Il s'agit donc :

- de traiter autant que possible, techniquement et économiquement, la (les) zone(s) concentrée(s) mise(s) en évidence, indépendamment de toute notion de risque ;
- pour la pollution résiduelle restant en place après le traitement des zones concentrées :
 - de maîtriser et de surveiller sur le long terme la migration de la pollution résiduelle vers l'extérieur du site ;
 - de proposer des dispositions constructives, des précautions et/ou des restrictions d'usage devant permettre à ce que la pollution résiduelle ne génère pas de risque inacceptable vis-à-vis des usages et de la nappe ;
- de valider, du point de vue sanitaire, les mesures de gestion proposées en fonction des aménagements et des usages pris en compte.

Le Plan de gestion est réalisé sur la base des informations recueillies au cours des études précédentes, des reconnaissances complémentaires, et de l'aménagement (projet, stade d'avancement et schéma(s) conceptuel(s) associés).

L'objectif du Plan de gestion est d'atteindre le meilleur niveau de protection de l'environnement, humain et naturel, à un coût raisonnable, tout en évitant de mobiliser des ressources inutilement démesurées au regard des intérêts à protéger.

7.2 Contraintes liées au projet et aux impacts identifiés

Les caractéristiques des impacts ou les contraintes liées au projet, vont conditionner en partie les scénarios de gestion envisageables sur le site, avec notamment :

- site localisé au sein d'un quartier urbanisé (habitat) : problématique de gestion des nuisances à prévoir en cas de chantier de traitement des sols, des gaz et des eaux souterraines.
→ **Circulation/stationnement difficiles à proximité du site et emprise limitée de chantier et de travaux de dépollution/aménagement du site.**
→ **Gestion des nuisances à prévoir en cas de chantier de traitement des pollutions (odeurs et exposition à la pollution, densité et propreté du trafic routier, espaces de stationnement et de stockage de matériels/matériaux, etc.).**
- espace disponible et topographie : espace disponible considéré limité avec l'absence de secteur à remblayer → **Terrassements très limités pour l'aménagement du site.**
- mitoyenneté/proximité des limites parcellaires : contrainte liée à l'exiguïté du site et à la proximité des sources-sols concentrées avec la voie publique (rue de Pont-Aven) et la parcelle voisine AX72, voire au-delà.
→ **Risque de désordre sur les fondations et murs de la parcelle AX72, ainsi que sur la voirie et les réseaux enterrés de la rue de Pont-Aven.**
→ **Etudes géotechniques et avis d'experts « structures » recommandés, notamment dans le cas de travaux en excavation et/ou de rabattement de nappe souterraine et/ou de traitement en injection.**
- migration de polluants : risque élevé de mobilisation/migration de polluants (notamment au droit de la rue de Pont-Aven et la parcelle voisine AX72, voire au-delà), étant donné la proximité de la nappe souterraine et de l'exiguïté du site.
→ **Maitrise nécessaire des procédés de traitement/dépollution (notamment de leur influence sur l'écoulement des eaux souterraines et du phénomène de dispersion de polluants).**
→ **Maitrise nécessaire du processus de gestion des eaux au droit du site (traitement, suivi, réservoir tampon, etc.).**
- gestion des eaux souterraines et de fond de fouille : Zone Saturée (ZS) à faible profondeur (à environ 1 m de prof. en juin 2023), induisant une contrainte de gestion des eaux en cas d'excavation (éventuelles difficultés de pompage, de traitement et de rejet des eaux), voire de traitement in-situ (épaisseur de la ZNS supposée variable).
→ **Maitrise nécessaire du processus de gestion des eaux au droit du site (traitement, suivi, réservoir tampon, etc.) et étude d'une solution d'un éventuel soutènement de parois de fouille.**
→ **Etude hydrogéologique et du NPHE¹ recommandées en vue de travaux de traitement et/ou terrassement au niveau de la zone saturée en eau.**

¹ NPHE : Niveau des Plus Hautes Eaux

7.3 Objectifs de réhabilitation (sur site)

Compte tenu des techniques de traitement applicables au site, les objectifs de traitement des pollutions au droit du site étudié sont les suivants :

- en 1^{er} lieu, l'inertage, le dégazage et le démantèlement des cuves enterrées et canalisations associées, ainsi que **la gestion des sols/remblais superficiels présentant une pollution concentrée, jusqu'à 1 m de profondeur** et devant correspondre à la Zone Non Saturée en eau (selon les mesures de juin 2023) ;
- en 2^{ème} lieu, **la gestion des sols présentant des pollutions concentrées** et définies par les concentrations suivantes (selon notamment les seuils de coupure sélectionnés en Chapitre 6.2.4) :
 - Indice HC C₁₀-C₄₀ < 500 mg/kg
 - (B)TEX < 6 mg/kg
 - Benzène < Limite de Quantification du laboratoire

De plus, ces objectifs pourront être adaptés lors de la réalisation des travaux (notamment lors de refus et difficultés techniques susceptibles d'induire des surcoûts « *déraisonnables* ») et sous-réserve de compatibilité sanitaire avec les usages futurs.

La réhabilitation/dépollution des sols doit permettre l'amélioration de la qualité environnementale du terrain au droit du site (« *élimination des pollutions concentrées* »), et à terme, de la nappe souterraine.

Dans l'objectif de contrôler cette amélioration de la qualité des eaux souterraines, le suivi environnemental de la nappe souterraine est d'ores-et-déjà préconisé avec notamment plusieurs campagnes d'analyses des eaux, durant et après les travaux de réhabilitation/dépollution (*a minima*, le bilan quadriennal après travaux).

Pour les gaz du sol, la réhabilitation/dépollution des sols doit permettre l'amélioration de la qualité environnementale du terrain au droit du site (« *élimination des pollutions concentrées* »), et à terme, des gaz du sol. Il n'est donc pas fixé d'objectifs chiffrés pour ce milieu.

7.4 Sélection des techniques de traitement applicables au site

7.4.1 Présélection des techniques de traitement (hors coût)

Les techniques de traitement sont de trois types :

- in-situ : traitement de la pollution en place dans le milieu où elle se trouve ;
- sur site : traitement sur le site après avoir extrait le matériau pollué (sol) ;
- hors site : traitement dans une filière spécialisée du matériau pollué extrait.

Dans la plupart des cas, il n'existe pas de schéma type de traitement. Mais, diverses techniques éprouvées pourront être associées pour obtenir un résultat quantifiable. Le traitement pourra être adapté en cours de réhabilitation pour optimiser son efficacité.

Cependant, une simplicité dans la mise en œuvre du traitement sera recherchée : une technique simple et éprouvée est toujours préférable à une technique sophistiquée qui limiterait le nombre d'entreprises répondant à une consultation et qui complexifierait la maintenance du dispositif.

Dans un premier temps, une présélection des techniques de traitement a été réalisée, afin d'identifier celles potentiellement applicables au site, tenant compte des critères sus mentionnés.

Une revue initiale des technologies disponibles est faite conformément aux traitements listés dans la norme AFNOR X31-620-3 et 4. Le tableau en page suivante, liste les solutions de gestion adaptées à la problématique (surlignées en vert dans le tableau).

Suite à cette étape de tri, les techniques qui semblent le mieux convenir pour le traitement des zones de pollution concentrée sont :

- Techniques de gestion in-situ :
 - le pompage et traitement in situ (stripping, filtration), voire l'extraction multiphasique de la pollution (au niveau de la Zone non saturée et/ou la Zone saturée) ;
 - l'oxydation chimique de la pollution (au niveau de la Zone non saturée et/ou la Zone saturée) ;
 - la biodégradation dynamisée de la pollution (au niveau de la Zone Saturée) ;
 - dans le cadre du projet de parvis et de stationnement aérien (absence de bâtiment) : le confinement par couverture et l'étanchéification superficielle ;
- Technique de gestion hors site : l'excavation des sols pollués et leur évacuation en filières adaptées (pour les pollutions en Zone non saturée et/ou en Zone saturée).

Tableau 9 : Synthèse des techniques de traitement envisageables

Codification AFNOR (NFX31- 620-4)	TECHNIQUE	Adapté à la problématique		Raison pour laquelle la technique <u>N'EST PAS ADAPTEE</u> à la problématique														Critère de décision ou d'orientation des solutions de gestion	
		Oui	Non	Polluant				Nature du milieu					Autres critères d'exclusion					Respect des objectifs de réhabilitation	
				Constante de Henry (H)	Presion vapeur (Pv)	Réactivité	Phase libre mobile	ZS	ZNS	Perméabilité (K)	Teneur en matière organique	Limitation liée au pH, au redox, O2 dissous, aux donneurs ou accepteurs d'électrons	Absence d'action sur la source	Acces- sibilité de la source	Impératif de temps	Place dispo- nible	Comple- xité du process		
Techniques de traitement in situ (avec traitement sur site des polluants récupérés)																			
C311	Méthodes physiques par extraction de la pollution in situ																		
C311a	Ventilation de la zone non saturée in situ (venting)		X					X		Texture moyennement perméable (limon à limon sableux)			X					Proximité de la zone saturée (niveau statique à 1-2 m de prof. au droit du site)	
C311b	Extraction multiphase in situ	X				Nécessité d'essais de faisabilité						Nécessité d'essais de faisabilité E2-E3						Applicable pour une pollution en COV, en équilibre triphasique et peu accessible (milieu moyennement perméable)	
C311c	Barbotage in situ / sparging in situ		X													X		Risque de dispersion de polluants dans le terrain (proximité du voisinage)	
C311d	Pompage et traitement in situ	X				Nécessité d'essais de faisabilité						Nécessité d'essais de faisabilité E2-E3						Applicable pour une pollution en COV, en équilibre triphasique et avec milieu plutôt perméable	
C311e	Pompage et écrémage in situ		X										X					Flottant non identifié	
C312	Méthodes physiques par piégeage de la pollution in situ																		
C312a	Confinement par couverture et étanchéification in situ	X											X					Applicable pour une pollution peu mobile (stabilisée) et peu accessible	
C312b	Confinement vertical in situ		X										X					Proximité du voisinage et gestion complexe des mitoyennetés (environnement densément urbanisé). Pour pollution peu/pas mobile.	
C312c	Piège hydraulique ou confinement hydraulique in situ		X										X				X		
C312d	Solidification / stabilisation in situ		X													X	X	Injection induisant une augmentation du volume de sols (sur-volume incompatible avec les mitoyennetés, sur-coûts liés à la gestion des terres en excédent)	
C313	Méthodes chimiques in situ																		
C313 a	Lavage in situ		X														X	Risque élevé de dispersion de polluants dans le terrain (proximité du voisinage)	
C313b	Oxydation chimique in situ	X				Nécessité d'essais de faisabilité				Nécessité d'essais de faisabilité E2-E3								Applicable si oxydant efficace sur la pollution.	
C313c	Réduction chimique in situ		X			X						X						Adaptée aux polluants halogénés	
C314	Méthodes thermiques in situ																		
C314a	Désorption thermique in situ		X					X								X	X	Volume trop faible pour rentabiliser le process + Nappe souterraine peu profonde (à 1-2 m)	
C315	Méthodes biologiques in situ																		
C315a	Biodégradation dynamisée (ou atténuation naturelle contrôlée) in situ	X				Nécessité d'essais de faisabilité				Nécessité d'essais de faisabilité E2-E3					X			Biodégradation probablement active au sein ou périphérie de la source. Mais contrainte de délai (pour finaliser la réhabilitation du terrain)	
C315b	Bioventing in situ		X					X					X					Proximité de la zone saturée (niveau statique à 1-2 m de prof. au droit du site)	
C315c	Biosparging in situ		X															Adaptée à une pollution biodégradable (HCT- BTEX), mais nécessitant une bonne perméabilité du milieu + Risque de dispersion de polluants dans le terrain	
C315d	Phytoremédiation in situ		X			X							X					Pollution à plus de 2 m de profondeur. Non adapté à l'intensité de la pollution	
C316	Autres techniques in situ																		
C316a	Barrière perméable réactive in situ - système mur		X										X				X	Proximité du voisinage et gestion complexe des mitoyennetés (environnement densément urbanisé).	
C316b	Barrière réactive - système porte		X										X				X		
Techniques de traitement sur site (avec traitement sur site des polluants récupérés)																			
C321	Méthodes physiques par évacuation de la pollution sur site																		
C321a	Excavation des sols sur site	X												(X)		Ok si évacuation des déblais		Risque de désordre sur le bâti + Evacuations nécessaires	
C321b	Tri granulométrique sur site		X			X							X					Procédé inadapté	
C321c	Lavage à l'eau sur site		X													X	X	Adapté si zone à remblayer avec sols traités. Gestion sensible des effluents et rejets	
C322	Méthodes physiques par piégeage de la pollution sur site																		
C322a	Encapsulation sur site		X					X					X			X		Procédés inadaptés si absence de zone en remblai sur site	
C322b	Solidification / stabilisation sur site		X													X			
C324	Méthodes thermiques sur site																		
C324b	Désorption thermique sur site		X					X								X	X	Volume trop faible pour rentabiliser le procédé et nappe souterraine peu profonde (à 1-2 m)	
C325	Méthodes biologiques sur site																		
C325a	Bioréacteur sur site		X													X		Adapté si zone à remblayer avec sols traités. Gestion sensible des effluents et rejets	
C325b	Biotertre sur site		X													X		Procédés inadaptés si absence de zone en remblai sur site	
C325d	Landfarming sur site		X												X	X		Adapté si zone à remblayer avec sols traités. Non adapté à l'intensité de la pollution	

7.4.2 Description des techniques retenues

7.4.2.1 Pompage et traitement in situ (stripping, filtration) ou Extraction multiphasique in situ - Code AFNOR C311



Pompage traitement in situ (C311 d)



Principe



Le pompage / traitement consiste à pomper les eaux souterraines pour fixer le panache de pollution et rejeter, après traitement, les eaux pompées en nappe ou au réseau. Il s'agit d'un traitement de panache exclusivement.

Comment ça marche?





Le pompage traitement a pour vocation de couper la voie de transfert des polluants dissous dans le panache. Sa mise en œuvre nécessite :

- la réalisation de puits de pompage
- la réalisation de puits de rejets
- le traitement des eaux pompées dans une installation de surface
- l'entretien du système de pompage

Comment on fait?


Le pompage / traitement peut être appliquée à de nombreux polluants à condition qu'ils soient solubles et que le milieu soit perméable. L'objectif est d'augmenter le gradient hydraulique à l'aide d'une pompe immergée afin de favoriser la migration de l'eau contaminée vers le puits de pompage. Cette augmentation du gradient accélère le mouvement des contaminants en direction des puits.

Pour le traitement des eaux pompées, plusieurs systèmes de traitement en surface sont envisageables dont l'adsorption sur charbon actif ou résine, la filtration, le stripping pour les composés à pression de vapeur et constante de henry élevées. Dans certains cas un traitement par oxydation ou physique peut être envisagé. Un pré-traitement est souvent associé (filtre à sable, défermentation, floculation, coagulation, etc.)


Avec quels moyens?

- Foreuse
- Equipements des puits
- Pompes immergées
- Piézomètres de contrôle
- Mesures de niveaux / sondes de pression
- Installation de traitement d'eau (stripping/charbon actif, autre...)




Extraction multiphasique (C311 b)

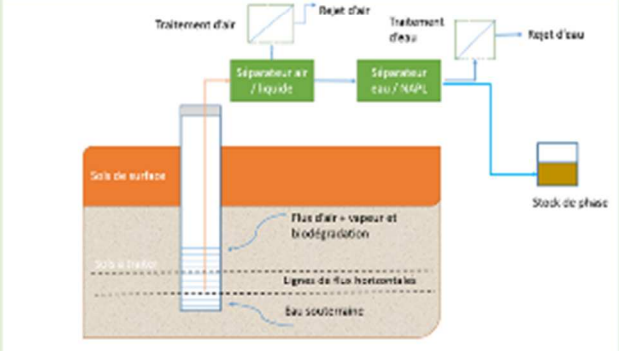


Principe



Extraction simultanée des phases organiques (Non Aqueous Phase Liquid : NAPL), dissoutes, vapeurs par mise en dépression du sous-sol

Comment ça marche?



Les différentes variantes de cette technique ont en commun une mise en dépression de la zone non saturée, de la zone de battement de nappe et la zone saturée (nappe). Elles ont pour objectif de récupérer du NAPL selon différentes configurations :


- extraction de NAPL mobile (L-Light-NAPL mobile en surface de nappe ou D-Dense-NAPL en fond d'aquifère)
- extraction d'eau chargée en polluants issus de la dissolution de NAPL immobile (LNAPL ou DNAPL)
- extraction de gaz chargés en polluants issus de la volatilisation de NAPL immobile (LNAPL ou DNAPL).

On distingue l'EMP double phase (généralement ciblée sur l'extraction de gaz et d'eau) de l'EMP triple-phase (eau, gaz, NAPL).


Comment on fait?

Réseau unitaire

Les effluents liquides et gazeux sont extraits du même puits par un tube et extracteur situé en surface, ce qui limite cette technique à 8 m de profondeur. Ce système nécessite l'application d'une dépression importante de 600 à 900 mbar. Il peut s'adapter à une phase surmontante ou coulante et est favorisé par une perméabilité faible




Réseau double



Cette technique combine le venting (ou bioventing) et le pompage / écrémage. Une pompe pneumatique exerce une dépression en tête de puits et une ou deux pompes immergées (deux configurations possibles) à la surface de la nappe et dans la zone saturée pour extraire les phases liquides (LNAPL et eau).

Avec quels moyens?



- extracteurs multifluides
- séparateur air/ eau ;
- séparateur liquide ;
- installation de traitement d'eau (charbon actif / stripper)
- traitement de l'air extrait par filtration sur charbon actif / biofiltre / catox;
- matériel de contrôle de conditions du milieu : dépression, vitesses de l'air; niveau de nappe (levellogger).

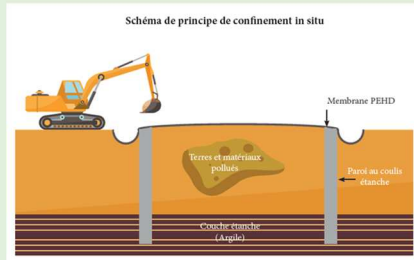
7.4.2.2 Confinement par couverture et étanchéification in-situ - Code AFNOR C312a

Principe



Les confinements physiques ont pour but d'empêcher la migration des polluants sous forme de poussière, dissoute organique ou gazeuse en dehors du lieu contaminé

Comment ça marche?

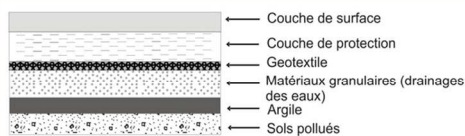


Le confinement est une méthode physique par piégeage de pollution. Le confinement physique consiste à isoler les contaminants de façon à prévenir d'une manière pérenne leur propagation. On distingue

- le confinement par simple couverture de surface
- le confinement vertical (parois moulées, palpeuilles,...)
- le confinement hydraulique

Comment on fait?

Confinement par couverture et étanchéification de surface

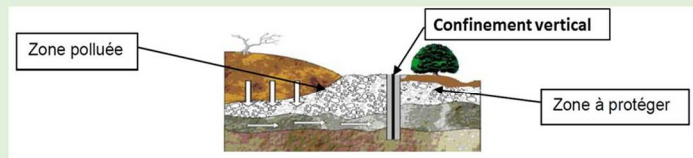


Le but de l'isolation de surface est un confinement des sols souillés afin d'empêcher ou limiter la percolation des eaux de pluie à travers la zone non saturée, puis l'infiltration des eaux souillées vers les eaux souterraines et superficielles.

Le confinement de la pollution permet de prévenir la contamination vers les cibles identifiées (humain, faune, flore).

En fonction des enjeux identifiés, l'isolation de surface pourra mettre en jeu différents types de couverture (simple ou multicouche)

Confinement vertical



Le but du confinement vertical consiste à mettre en place une barrière étanche (palplanche en PEHD, soil mixing, injection de coulis,...) entre la source de pollution et les eaux souterraines et superficielles. Le confinement vertical permet également le renforcement de la stabilité mécanique du stockage.

En fonction des conditions environnementales et des enjeux à protéger, les confinements verticaux peuvent être implantés au pourtour, en aval ou en amont de la source de pollution.

Avec quels moyens?

- Engins d'excavation : pelle mécanique, tractopelle, camion, benne preneuse
- Engins d'étanchéification : vibrofonçage, engins de malaxage, pieux sécants ou disjoints, dispositif de levage et de déroutage de géomembrane....
- Couverture avec une couche de sable-bentonite, d'argile naturelle
- Couverture avec du géotextile
- Couverture avec de la géomembrane en PEHD
- Dispositif de drainage des gaz (dispositif de traitement des gaz si besoin)

7.4.2.3 Oxydation chimique in-situ - Code AFNOR C313b

Principe



L'oxydation in situ consiste à placer le milieu dans des conditions oxydantes ou à injecter un oxydant puissant pour dégrader les polluants en composés moins ou non toxiques.
Elle concerne la zone saturée et la zone de battement de nappe.

L'oxydation chimique permet la décomposition des polluants en composés moins ou non toxiques grâce à l'injection ou au mélange avec des oxydants puissants.

Comment ça marche?

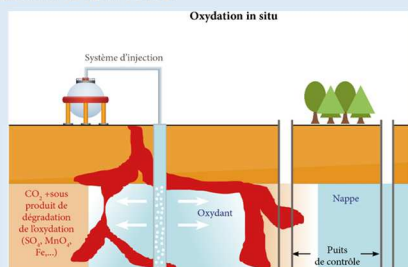
L'oxydation chimique in situ est une technique de dégradation physico-chimique de polluants organiques par l'action de réactifs oxydants sur les polluants dont le passage de l'état réduit à un état oxydé se traduit par une décomposition partielle voire une minéralisation totale. Cette technique s'adresse aux pollutions organiques présentes en panache dans la ZS ou en zone source dans la ZS ou dans la ZNS. Elle est le plus souvent mise en œuvre dans la ZS. Les principales variantes de mise en œuvre de l'oxydation chimique in situ tiennent essentiellement à la nature des réactifs employés. Les principaux oxydants utilisés sont présentés ci-dessous. Des additifs (sulfates de fer, acide citrique) peuvent être injectés préalablement à l'oxydant dans un objectif d'amélioration de l'abatement des concentrations.

Oxydant	espèce réactive	forme	activateur	Persistence	Potentiel eV
Permanganate (Potassium, sodium)	MnO4-	poudre / liquide	sans	>3mois	1,7V
Péroxyde d'hydrogène catalysé	H2O2 / OH- /H2O2/O2- /HO2-	liquide	Fe2/Fe3/sans	<heures	1,8/2,8/1,7-2,4/-0,88V
Persulfate de sodium activé / non activé	S2O82-, S2O4- /OH- /O2-	poudre / liquide	chaleur, H2O2,pH alcalin	<mois	2,1 / 2,6V
acétone	O3 / OH-	gaz	sans	<heures	2 1/2 RV

[illegible]

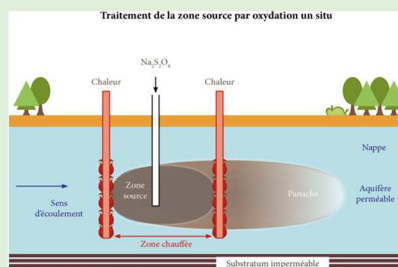
Comment on fait?

Le traitement de zone source



Apport de l'oxydant

- Par Injection direct push type GEOPROBE (BPR)
- Puits d'injection (zone source ou BPR) avec recirculation ou non
- Soil mixing de type tarière hélicoïdale (permanganate et persulfate)



Apport de l'oxydant

- Puits d'injection de type tube à manchettes
- Puits d'injection en flûtes de pan
- Pompage et recirculation ou non

Avec quels moyens?

- foreuse
- puits équipés de tubes à manchettes ou puits d'injection en flûtes de pan
- unité de soil mixing
- centrale de préparation de l'oxydant
- unité d'injection
- réseau de monitoring



Traitement in situ par injection



Principe



Paramètres d'exclusion

Le traitement par injection permet d'introduire dans le milieu souterrain une ou plusieurs substances dont le rôle est d'activer la dégradation des molécules à traiter
Sols non injectables : argiles

Comment ça marche ?

Plusieurs solutions d'injection existent

Infiltration : l'infiltration se fait soit via des drains depuis la surface soit directement dans des piézomètres

Injection "direct push" : une seule injection sous pression via une buse directement enfoncée dans le sol ou intégrée à une tarière hélicoïdale, cette solution est adaptée au traitement de zone source lorsqu'il est nécessaire de ne réaliser qu'une seule injection ou 2 injections tout au plus

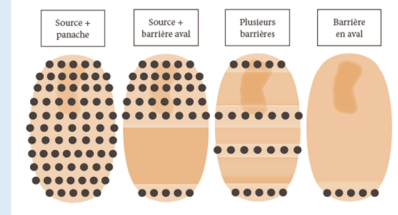
Injection en tube à manchette : issue des techniques d'injection de coulis de ciment, cette technique utilise des tubes PVC équipés de manchettes espacées de 30cm à 50cm pour les plus courantes qui permettent d'injecter sélectivement à différents niveaux. Cette solution se décline en :

1. **injection basse pression**, par imprégnation. Cette approche permet une diffusion du produit dans le milieu sans modification du milieu
2. **injection haute pression**. Cette approche impose une fracturation du milieu. Elle est utilisée pour obtenir des rayons d'action supérieurs à ceux obtenus par imprégnation.

La typologie des traitements par injection :

- Oxydation (zone source et dans certains cas panaches)
- Réduction biologique (zone source et panache)
- Réduction chimique (zone source et panache)
- Lavage (zone source)
- Biodégradation aérobie

Typologie des traitements par injection



Comment on fait ?

Infiltration

L'infiltration se fait soit via des drains soit directement dans des piézomètres.
Elle n'est recommandée que dans le cas d'un milieu homogène et grossier.
Pour la zone non saturée elle est plus efficace si la ZNS peut être complètement inondée nécessite de nombreux ouvrages de monitoring



Injection direct push

L'injection se fait sous pression, à la remontée. Un atelier de type géoprobe peut être utilisé avec un système hydraulique dédié à l'injection (pointe conique CPT : injection à la remontée en imprégnation ou en claquage), ou une tarière hélicoïdale (spin : injection à la descente, en imprégnation).

2 ou 6 forages jours à 10m en moyenne à 400l/m

Mesures et enregistrement de :

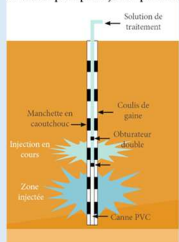
- Profondeur d'injection
- Volume cumulé
- Débit d'injection
- Pression d'injection
- Profondeur d'injection cm précision



Injection en TAM par imprégnation

Injection avec une pression de quelques bars.
Vitesse d'injection de 2 à 3 TAM par tuyauterie d'injection.
1 centrale d'injection peut distribuer jusqu'à 6 TAM en simultané, avec contrôle de la pression et du débit en continu.
Quelques centaines de litres injectés par manchette

Schéma de principe d'injection par TAM



Injection en Tubes A Manchettes (TAM)

Injection en TAM par fracturation

Injection avec une pression de 10- 15 bars minimum.
Vitesse d'injection de 6-8 TAM par tuyauterie d'injection.
1 centrale d'injection peut distribuer jusqu'à 6 TAM en simultané, avec contrôle de la pression et du débit en continu.
Quelques centaines de litres injectés par manchette



Comment on pilote le traitement ?

Vérification des paramètres enregistrés et des incidents d'injection (par exemple résurgence - audit CEBTP sur la méthodologie d'injection possible)

Réception

Sondages sols et analyses de la concentration en substances injectées

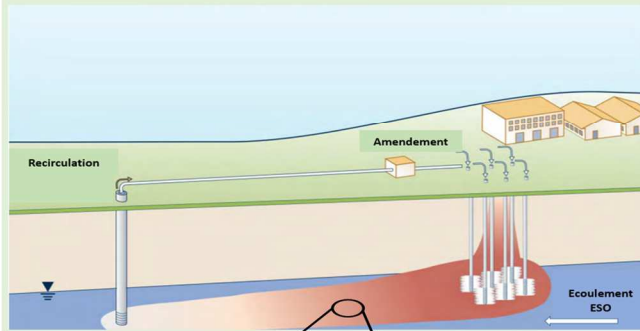
7.4.2.4 Biodégradation dynamisée in situ - Code AFNOR C315a

Principe



Dégradation aérobie des polluants présents in situ en zone saturée en stimulant la croissance des micro-organismes

Comment ça marche?

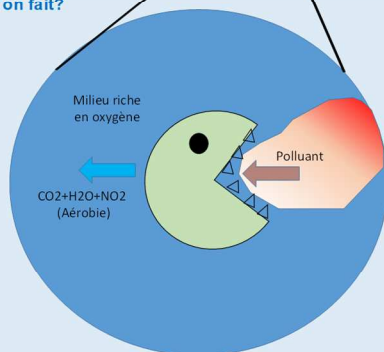


Cette technique est mise en œuvre dans un panache d'eau souterraine (composés dissous et adsorbés)

Compte tenu des polluants visés, cette technique est mise en œuvre sous forme de biostimulation, procédé visant à stimuler la croissance des micro-organismes présents dans le milieu souterrain.

Les bactéries aérobies utilisent l'oxygène pour oxyder les molécules organiques et les transformer en eau + CO₂. Les bactéries utilisent l'oxygène comme accepteur d'électrons terminal. Les hydrocarbures sont donneurs d'électrons

Comment on fait?



Diffuseur d'O₂



Exemple de réaction de dégradation aérobie (Benzène) :
 $C_6H_6 + 7,5 O_2 \rightarrow 6 CO_2 + 3 H_2O$

- L'oxygène peut être apporté sous forme gazeuse (pompage de l'air, ajout d'oxygène pur,...), sous forme liquide (peroxyde d'hydrogène (H₂O₂)) ou solide (peroxyde de magnésium - MgO₂)
- Les ORC (Oxygen Release Compound) permettent de libérer lentement l'oxygène et présentent donc l'avantage de créer des conditions plus rémanentes
 - possibilité d'ajouts de nutriments sous forme liquide nécessaire au développement et à la croissance des microorganismes

Avec quels moyens?

- Système de stockage/production d'oxygène sous forme gazeuse, liquide ou solide (surpresseur, cuve de stockage, pompe, compteurs...);
- Matériel relatif à l'ajout de nutriments : cuve de stockage, système de mélange avec l'eau ;
- Système de points d'injections verticaux (puits d'injection) ou horizontaux (drains d'injection, sprinkler...);
- Réseau piézométrique permettant de suivre les écoulements souterrains et la qualité des eaux souterraines ;
- Puist et pompe de recirculation;
- Si nécessaire, des systèmes de récupération et de traitement des effluents liquides et gazeux

7.4.2.5 Excavation et traitement hors site - Code AFNOR C321a

Principe



Cette technique consiste à excaver une source de pollution délimitée accompagnée d'actions complémentaires afin de traiter et/ou stocker les terres excavées. Il s'agit de la méthode la plus radicale, la plus simple et souvent la plus rapide pour supprimer une source de pollution.

Comment ça marche?

Sur la base des investigations réalisées, un plan du maillage de terrassement est effectué en fonction de la qualité des terres. Un tri peut être réalisé sur terrain et suivant un maillage prédéfini, sous contrôle d'un ingénieur environnementaliste. Les terres excavées sont ensuite orientées vers un stockage temporaire avant transfert vers les installations de stockage/traitement ou évacuées directement vers ces filières.



Comment on fait?

Travaux préparatoires / Excavation

Au démarrage du chantier, des aires de stockage temporaires étanches peuvent être aménagées pour une meilleure gestion des flux. Durant les travaux de terrassement, un tri des terres est réalisé en fonction de leur degré de pollution avec une orientation vers les zones stockages spécifiques (observations organoleptiques, mesures PID ou analyses de laboratoire).

Dans certains cas, un tri granulométrique (concassage / criblage) permet d'optimiser les quantités de terres à traiter. Dans certains cas, les travaux d'excavation devront être réalisés avec blindage des fouilles et/ou talutage. Si les eaux souterraines sont interceptées par les excavations, une gestion spécifique de ces eaux est à prévoir.

Evacuation

Un certificat d'acceptation préalable (CAP) doit être établi préalablement à l'évacuation des terres vers la filière choisie.

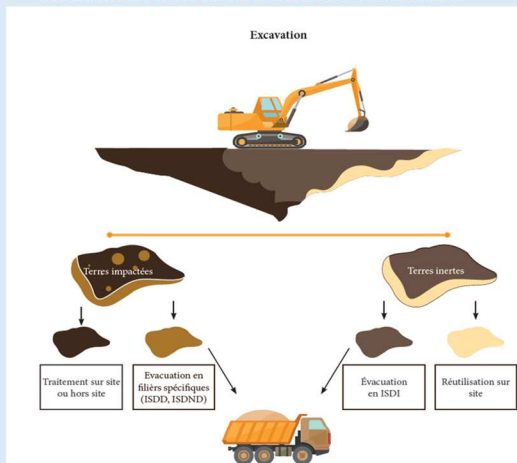
L'évacuation des déblais devra être accompagnée de bordereaux de suivi de déchets (BSD) pour chaque camion, confirmant la traçabilité de l'évacuation des déchets issus du site.

En fin de chantier, des échantillons en fonds et en flancs de fouille seront prélevés et analysés afin de valider que les seuils de dépollution sont bien atteints.

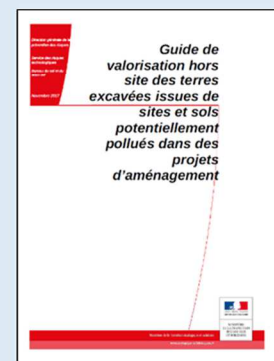
Remblaiement

Après contrôle et réception des bords et fond de fouille, les excavations seront remblayées par des terres d'apport saines.

Orientation des terres excavées en fonction de leur nature



Possibilité de valorisation des terres excavées



Avec quels moyens?

- Engins de travaux publics : pelle mécanique, tractopelle, camions bâchés (dans certains cas habilités à contenir des déchets ou à respecter la réglementation du Transport de Matières Dangereuses (TMD)) ;
- Blindage/ pompes de nappe si besoin
- Unité de tri granulométrique (cribleur / concasseur)
- Aménagement d'aire de stockage temporaire (géotextile, géomembrane,...)
- Tente ventilée en cas de fortes odeurs (COV)
- Système de brumisation pour limiter l'envol de poussières

7.5 Elaboration des scénarios de gestion envisageables pour le site

Compte tenu des contraintes de gestion énoncées en Chapitre 7.2 (notamment celles liées à la proximité du voisinage et de la voirie, ainsi que de la faible profondeur de la nappe souterraine), de la nature des impacts relevés sur site, et des objectifs de réhabilitation indiqués en Chapitre 7.3, quatre scénarios de gestion des pollutions sont proposées avec :

- en 1^{er} lieu (par défaut) : Démantèlement des cuves enterrées et canalisations associées, ainsi que excavation et évacuation en filière adaptée des remblais superficiels reconnus pollués et considérés facilement accessibles (sur 1 m d'épaisseur, en Zone Non Saturée en Eau) ;
- en 2^{ème} lieu (en complément) :
 - **scénario 1** : Confinement in-situ par couverture des pollutions concentrées en hydrocarbures et surveillance de la qualité des eaux souterraines sur une durée prolongée.
Pour ce scénario, seul le projet de parvis et de stationnement aérien pourra être envisagé et devra intégrer une gestion des eaux pluviales en dehors du confinement et de la pollution résiduelle.
 - **scénario 2** : Pompage et traitement in situ (stripping, filtration), voire extraction multiphasique in situ des pollutions concentrées en hydrocarbures ;
 - **scénario 3** : Oxydation chimique in situ des pollutions concentrées en hydrocarbures ;
 - **scénario 4** : Excavation et évacuation en filière adaptée des pollutions concentrées jusqu'à 3 m de profondeur (limite technique) ;
 - + Biodégradation dynamisée in situ (ou Atténuation Naturelle Contrôlée), de la pollution difficilement accessible (Zone Saturée, risque élevé de désordre sur les structures à conserver ou en limite parcellaire / Hors site).

Commentaire sur les enjeux hors site :

Rappelons qu'une dégradation des sols en hydrocarbures est constatée en bordure du site étudié (extension probable de la pollution au droit de la rue de Pont Aven, de la parcelle AX72 voisine, voire au-delà), et traduit probablement le phénomène de migration de la pollution (via les eaux souterraines).

En outre, l'usage sensible de la nappe souterraine est probable (éventuels puits pour l'arrosage de potagers, voire la consommation d'eau).

Aussi, la volatilisation est possible dans l'air ambiant hors-site et susceptible d'exposer les usagers aux polluants gazeux transitant dans les eaux souterraines.

Par conséquent, **la démarche d'Interprétation de l'Etat des Milieux est recommandée** (prestation IEM de la norme AFNOR N FX 31-620), afin de s'assurer de la compatibilité de l'état des milieux avec des usages présents (hors site). Cette démarche peut comprendre à la fois, une enquête de quartier sur les usages et caractéristiques des bâtiments voisins, ainsi que des usages de la nappe souterraine et le diagnostic complémentaire de celle-ci.

Dans ce cadre, **un diagnostic complémentaire est préconisé hors-site** sur les milieux Sols, Eaux souterraines, Gaz du sol, Air ambiant et Eaux de robinet. Ces investigations permettront en outre de préciser le périmètre des restrictions d'usage pour les eaux souterraines.

Notons que dans le cas d'une pollution significative identifiée hors site, le Plan de Gestion (avec ARR) devra être mis-à-jour.

7.6 Descriptif des scénarios de gestion

Les scénarios envisagés pour la gestion du site sont décrits ci-après. Les estimations financières présentées sont de précision « *étude préliminaire* » et intègrent les frais de mission de maîtrise d'œuvre (15% des travaux), ainsi que **+30% d'aléa sur les quantités de sols pollués**.

7.6.1 Préambule n°1 : Risque de désordre sur les fondations et structures

Soulignons la contrainte d'exiguïté du site étudié et de proximité des murs et bâtiments de la parcelle AX72 voisine, ainsi que de la voirie de la rue de Pont-Aven.

Dans ce contexte, nos recommandations et estimations présentées dans le présent document, sont émises **sous-réserve d'éventuelles recommandations/prescriptions géotechniques et/ou de renforcement de la structure de bâtiment et avoisinant**.

De plus, et dans le cadre d'éventuels travaux en excavation, **la nature et l'estimation liées au soutènement de parois de fouille, sont renseignées par défaut** (avec le blindage à simple ou double glissière nécessitant l'intervention d'un engin de levage lourd¹ (accès et stationnement à étudier en AVP). Elles devront être vérifiées, en tenant compte notamment de l'expertise du Maître d'œuvre VRD et d'un Bureau d'Etude en géotechnique (voire d'un Bureau d'Etude Technique « *structure* »).

Par ailleurs, les risques liés au pompage des eaux pour assécher les fouilles devront être pris en compte.

7.6.2 Préambule n°2 : Confinement par couverture de la pollution

Uniquement dans le cadre du projet d'aménagement de parvis et de stationnement aérien, la solution de confinement par couverture de la pollution (pollution résiduelle non traitée en raison de difficultés techniques de traitement susceptibles d'induire un surcoût « *déraisonnable* ») devra permettre de supprimer l'exposition par contact direct et l'infiltration d'eau météoritique susceptible de mobiliser la pollution profonde.

Ce confinement correspondra à la création d'**une dalle bétonnée ou toute autre structure imperméable** (enrobé non drainant, géomembrane soudée, *etc.*) dont la pérennité devra être assurée.

De plus, **un géotextile surmonté d'un grillage avertisseur** devra recouvrir les sols présentant la pollution « *résiduelle* », afin de signaler leur présence et de les isoler des matériaux propres associés au confinement (couche de forme du dallage).

Compte tenu de la situation des futurs parvis et stationnements aériens (futur domaine public), les Maître d'ouvrage et Maître d'œuvre des travaux devront s'assurer de l'efficacité du dispositif de confinement dès sa conception (qualité de la structure de recouvrement, absence de plantation, absence d'infiltration des eaux pluviales, *etc.*) **et sur plusieurs années** (adoption de servitudes/restrictions d'usage et suivi environnemental de la nappe souterraine sur plusieurs années/décennies).

¹ Technique de soutènement à l'aide de palplanches métalliques non retenue en 1^{ère} approche (compte tenu de la taille et de la profondeur de la fouille).

7.6.3 Préambule n°3 : Faisabilité des procédés de traitement in-situ

Afin de vérifier la faisabilité technique et économique (rendement) des solutions de pompage/extraction multiphasique, d'oxydation chimique et/ou de biodégradation de la pollution (scénarios 2, 3 et 4), **des essais en laboratoire et/ou de terrain** doivent être menés préalablement à la mise en œuvre des traitements de la pollution (en phase AVP).

Ces essais correspondent aux prestations codifiées B111 et B112 de la norme AFNOR NF X 31-620. Selon le scénario de dépollution, ils pourront concerner des essais en laboratoire de différents oxydants (à différentes concentrations et dans des conditions différentes), ainsi que des essais in situ d'extraction, de pompage, ou au contraire, d'injection de réactifs (essais de terrain ou procédés pilotes).

► Essais en laboratoire sur la biodégradation des hydrocarbures (B111)

Menés au cours du 1^{er} semestre 2024 (GINGER BURGEAP), les essais de biodégradation des hydrocarbures en laboratoire mettent en évidence (selon le rapport d'essais référencé R1075695-01 et daté du 21/06/2024) :

- une très bonne biodégradation du naphthalène dans les sols et les eaux avec des abattements supérieurs à 80% dès 2 mois d'essai ;
- une biodégradation limitée des hydrocarbures (C5-C10 et C10-C40) et des BTEX (xylènes) dans les sols en raison de : la faible diffusion de l'oxygène dans l'échantillon de sols et le relargage de polluants par consommation de la matière organique du sol.

La biodégradation aérobie de la pollution en hydrocarbures n'est donc pas une technique recommandée.

► Essais en laboratoire sur l'oxydation chimique des hydrocarbures (B111)

Menés au cours du 1^{er} semestre 2024 (GINGER BURGEAP), les essais de d'oxydation chimique des hydrocarbures en laboratoire mettent en évidence (selon le rapport d'essais référencé R1075695-01 et daté du 21/06/2024) :

- pour les hydrocarbures C5-C10, des taux d'abattement entre 32% et 78% selon la teneur en oxydant ;
- pour les BTEX, des abattements très satisfaisants et supérieurs à 88% dès 7 jours (légèrement plus élevés avec le persulfate comparé au permanganate) ;
- pour les hydrocarbures C₁₀-C₄₀, des abattements variables et difficiles à estimer pour le permanganate et pas d'abattement pour le persulfate.

L'oxydation chimique de la pollution en hydrocarbures (scénario 3) est donc considérée efficace.

Des essais d'injection in situ d'oxydant ont été réalisés décembre 2024, par GINGER BURGEAP et pour le compte de l'EPF BRETAGNE.

Les résultats de ces essais d'injection sont en cours d'interprétation avec en définitive, l'établissement du **Plan de Conception des Travaux** (prestation PCT) qui permettra de déterminer les techniques de dépollution adaptées et de fournir des éléments de dimensionnement utilisés pour la rédaction d'un cahier des charges pour la consultation des Entreprises en charge de l'exécution des travaux.

► Autres essais de traitement de la pollution

Concernant le procédé spécifique de biodégradation in situ (scénario 4), les essais de terrain permettront de reconnaître le mécanisme/processus actuel de biodégradation des polluants et d'en déduire sa cinétique, ainsi que les éventuels moyens de stimulation de la croissance des micro-organismes présents dans le milieu souterrain (oxygénation, apport de nutriments, etc.). Cette étude de la biodégradation in situ doit permettre de dimensionner la solution de biodégradation dynamisée in situ (ou Atténuation Naturelle Contrôlée), de la pollution difficilement accessible (Zone Saturée ou risque élevé de désordre sur les structures à conserver).

7.6.4 Préambule n°4 : Estimation des quantités de pollution concentrée à gérer

Aussi, l'estimation des volumes de sols pollués à traiter est établie sur la base :

- des données disponibles sur la qualité environnementale du terrain au droit des parcelles AX490 et 491 (données non disponibles hors site) ;
- des objectifs de traitement indiqués en Chapitre 7.3 ;
- du projet d'aménagement impliquant soit la création de parvis et stationnements aériens (absence de bâtiment), soit la création de logements collectifs aux étages d'un nouveau bâtiment construit sur vide-sanitaire (stationnement et bureaux/commerces en RdC ; voir esquisses en **Annexe 1**).

Rappelons que ces hypothèses sont retenues **en 1^{ère} approche et sous-réserve de recommandations / prescriptions géotechniques et/ou de renforcement de la structure des bâtiments et avoisinants**.

La nature des pollutions, ainsi que les estimations des emprises et volumes de sols, sont présentées dans le tableau et sur la figure en pages suivantes.

Au droit du site étudié, les quantités de sols présentant des pollutions concentrées **en hydrocarbures** sont estimées à **1 365 m³ (2 457 tonnes)**. Notons qu'une part de la pollution en hydrocarbures (230 m³ / 414 tonnes ; sondages C4, C6, A2 et S11) est considérée faiblement volatile (de type huile).

Rappelons que l'extension des pollutions est susceptible de s'étendre hors site, via les eaux souterraines, au droit de la rue de Pont-Aven, ainsi qu'au droit de la parcelle AX72 voisine, voire au-delà. A ce stade (absence de diagnostic environnemental hors site), aucun cubage n'est estimé concernant les sols pollués hors site.

Tableau 10 : Quantification des pollutions concentrées sur site

ZNS / ZS (1)	Ancienne installation / activité	Sondage	Nature de la pollution (concentration) (2)	Epaisseur reconnue polluée	Epaisseur estimée des pollutions	Superficie estimée	Volume estimé (+30% d'aléa sur le cubage inclus)	Tonnage estimé (3)
				m	m	m²	m3	Tonne
Supposé hors d'eau	Atelier mécanique (parcelle AX490)	C6	Hydrocarbures C ₁₀ -C ₄₀ (4 070 mg/kg) Plomb (226 mg/kg)	0-1 (hors d'eau)	1	30	40	72
	Atelier mécanique (parcelle AX491)	C4	Hydrocarbures C ₁₀ -C ₄₀ (848 mg/kg)			30	40	72
		A2	Hydrocarbures C ₁₀ -C ₄₀ (537 à 1 360 mg/kg)			40	50	90
	Cuves enterrées à carburants	A1, S1, S4 et S6	BTEX (9,66 à 11,5 mg/kg)			170	220	396
Supposé en eau	Atelier mécanique (parcelle AX490)	C6	Hydrocarbures C ₁₀ -C ₄₀ (1 490 mg/kg)	1-3 (saturée)	2	30	80	144
	Atelier mécanique (parcelle AX491)	S11	Hydrocarbures C ₁₀ -C ₄₀ (923 mg/kg)	1-2 (saturée)	1	15	20	36
	Cuves enterrées à carburants	A1, S1 à S4, S6, C3 et C7	Hydrocarbures C ₁₀ -C ₄₀ (555 à 1 160 mg/kg) BTEX (6 à 180,3 mg/kg)	1-5 (saturée)	4	170	885	1 593
	Volucompteur	S8	BTEX (7,58 mg/kg)	1-2 (saturée)	1	25	30	54
HORS- SITE	Migration hors-site (parcelle AX72 voisine et au-delà)	Hydrocarbures dont les BTEX ?	Diagnostic de pollution hors site et IEM recommandés (cf. chapitre 7.5)					
	Migration hors-site (rue de Pont-Aven et au-delà)							
				Total estimé hors d'eau (sur site)			350	630
				Total estimé en Zone saturée (sur site)			1 015	1 827

(1) selon les mesures de niveaux statiques sur les piézomètres au droit du site, en juin 2023

(2) **en gras** : teneur supérieure aux seuils de coupure

(3) conversion volume / tonnage : densité des sols estimée à 1,8

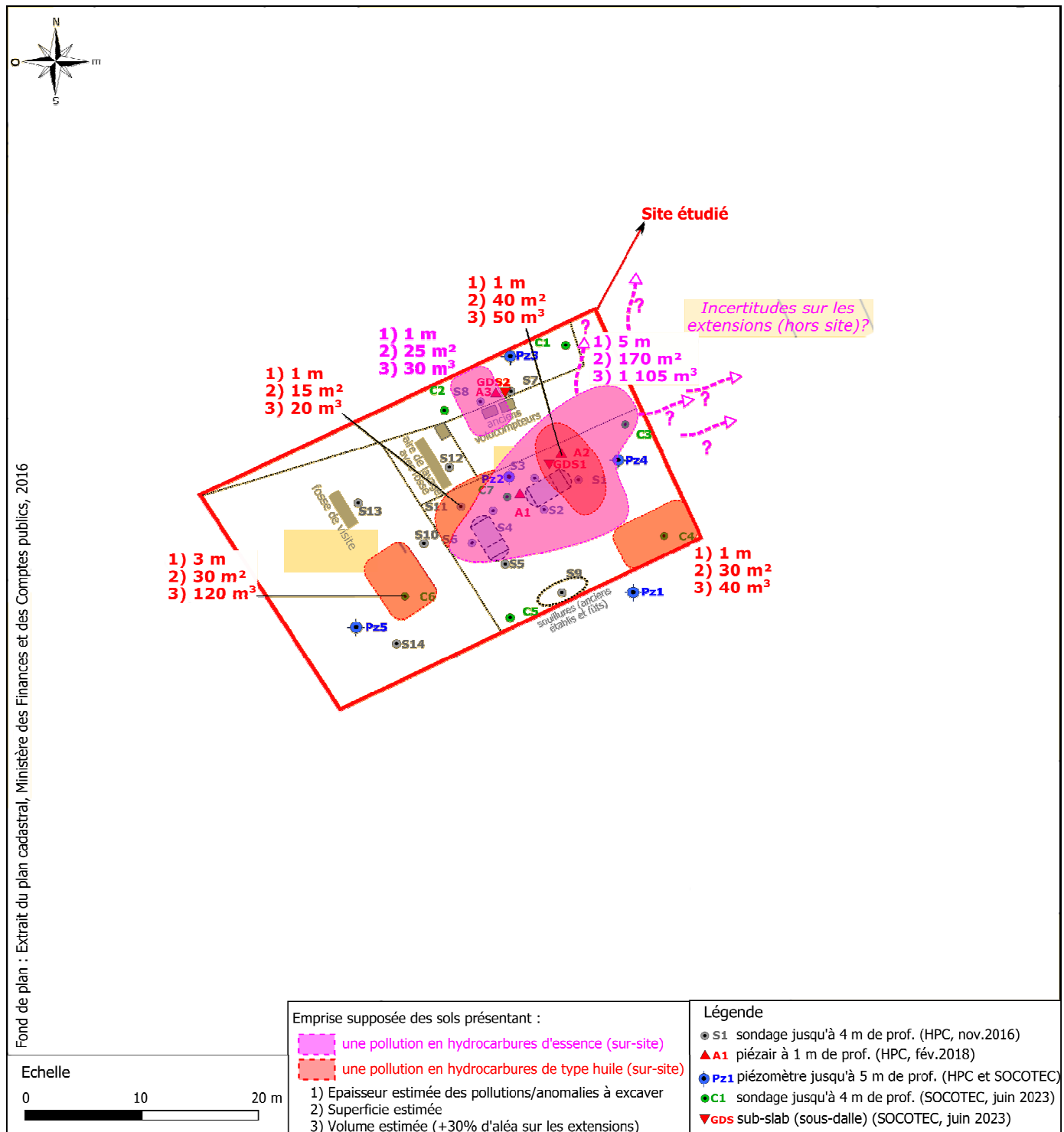


Figure 8 : Emprise supposée des pollutions concentrées dans les sols et au droit du site étudié

7.6.5 Scénario 1 « Confinement in-situ par couverture » pour le projet de parvis et stationnements aériens

Ce scénario consiste d'une part, à évacuer les sols/remblais superficiels impactés en hydrocarbures jusqu'à 1 m de profondeur (considérés en Zone Non Saturée et facilement accessibles), et d'autre part, à assurer l'imperméabilisation des surfaces surmontant la pollution concentrée (Code AFNOR C313b).

Au final, il s'agit de créer une couverture imperméable (nouvelle dalle bétonnée, pose d'un enrobé non drainant ou de tout autre matériau imperméable (géomembrane soudée, etc.)) au droit des pollutions en hydrocarbures localisées en-deçà de 1 m de profondeur (Zone Saturée). Les principes des techniques de gestion associées à ce scénario sont présentés au § 7.4.2.

Etant donné les pollutions laissées en place (confinées par couverture), ce scénario est considéré **uniquement** pour le projet d'aménagement de parvis et stationnements aériens (espace vert proscrit).

Dans l'objectif de vérifier la maîtrise de la pollution et ainsi contrôler l'absence de migration de la pollution via les eaux souterraines, une surveillance environnementale (bilan quadriennal ; prestation codifiée BQ) doit également être mise en œuvre. Cette surveillance sera vraisemblablement poursuivie (non estimée dans l'estimation), du fait du confinement de pollutions concentrées.

Le tableau en page suivante présente les coûts de gestion des pollutions concentrées selon le scénario 1 de gestion des pollutions.

Le budget global pour l'évacuation des impacts superficiels et le confinement in-situ (par couverture) de la pollution en hydrocarbures considérée difficilement accessible (au niveau de la Zone Saturée), est estimé en 1^{ère} approche à environ 310 k€ HT (constitution d'une nouvelle dalle bétonnée comprise ; Ingénierie et MOE comprises).

Rappelons qu'il a été retenu un aléa de +30% sur les quantités de pollution concentrée au droit du site (incertitude sur les extensions) et que la gestion d'une éventuelle pollution hors site n'a pas été prise en compte (diagnostic environnemental non disponible hors site).

A ce coût, viendra s'ajouter la surveillance des eaux souterraines au-delà du bilan quadriennal post-travaux, du fait du confinement de la pollution concentrée en place.

Tableau 11 : Estimation des coûts de gestion des pollutions (SC1 : confinement par recouvrement des hydrocarbures, dans le cadre du projet de parvis et stationnements aériens)

Poste	Unité	Quantité	Prix U € HT	Prix € HT
Gestion des pollutions concentrées en hydrocarbures (1 365 m3) (1)				
1 Préparations administrative (référé préventif, CAP, convention de rejet, etc.) et matérielle (clôture, aire de tri, piquetage, etc.)	forfait	1	10 000	10 000
2 Excavation des pollutions concentrées facilement accessibles				
2.1 Extraction et évacuation de la dalle bétonnée existante	m ²	750	50	37 500
2.2 Terrassement et tri des sols pollués en hydrocarbures considérés facilement accessibles	m ³	350	15	5 250
2.3 Gestion des eaux en fond de fouilles et de ruissellement (y compris pompage, traitement et analyses avant rejet)	semaine	2	4 000	8 000
2.4 Analyses pour réception des fouilles	forfait	1	8 000	8 000
3 Chargement, transport et élimination en filière adaptée (2)(3)				
3.1 en ISD-Inertes	tonne	pm	15	-
3.2 en biocentre	tonne	396	100	39 600
3.3 en ISD dite « classe 3 + »	tonne	pm	80	-
3.4 en ISD-Non Dangereux	tonne	234	120	28 080
3.5 en ISD-Dangereux	tonne	pm	200	-
3.6 Inertage et élimination d'un cuve enterrée de 10-15 m ³ (élimination du contenu compris)	unité	2	7 000	14 000
4 Remblaiement et confinement par recouvrement des pollutions difficilement accessibles				
4.1 Fourniture et pose des géotextile et grillage avertisseur	m ²	530	10	5 300
4.2 Remblaiement du fond de fouille à l'aide de matériaux de carrière ou concassés (grave 0-31,5 ou 0-80 mm)	m ³	350	30	10 500
4.3 Constitution d'une dalle bétonnée (recouvrement)	m ²	530	100	53 000
4.4 Confinement à l'aide d'une géomembrane soudée en fond de fouille (fourniture et pose incluse)	m ²	pm	50	-
TOTAL gestion des pollutions concentrées				181 730
Ingénierie des travaux de réhabilitation des sols (hors déconstruction/construction)				
5 MOE et Contrôles extérieurs	%	15	-	32 885
Bilan quadriennal sur les eaux souterraines				
6.1 Création de 5 piézomètres, sécurisation de l'implantation incluse	forfait	1	12 000	12 000
6.2 Suivi semestriel de la qualité environnementale de la nappe souterraine (sur 5 piézomètres) - 4 ans	unité	8	5 000	40 000
6.3 Etablissement du bilan quadriennal (prestation codifiée BQ)	forfait	1	5 000	5 000
6.4 <i>Suivi de la qualité environnementale des eaux souterraines au-delà de 4 ans</i>	<i>Non estimé à ce stade</i>			
TOTAL gestion de source concentrée (y compris MOE)				309 115

(1) Incertitudes sur les extensions de la pollution en profondeur

(2) Sous-réserve de l'acceptation des filières (obtention de CAP (Certificat d'Acceptation Préalable))

(3) TGAP comprise

Remarque : densité des sols prise en compte dans les calculs = 1,8

7.6.6 Scénario 2 « *Pompage et traitement in situ ou extraction multiphasique* »

Ce scénario consiste principalement à pomper et extraire les phases liquides et gazeuses des sols pollués en hydrocarbures d'essence, puis à les traiter sur site avant rejet (à l'aide d'une colonne de stripping et/ou de filtre à charbon actif ou d'autre nature). Les principes des techniques de traitement associées à ce scénario sont présentés au § 7.4.2.

Rappelons que cette solution de gestion devra être **préalablement validée** avec des essais en laboratoire et de terrain (voir chapitre 7.6.2).

Par ailleurs, et concernant les remblais superficiels reconnus impactés en hydrocarbures (jusqu'à 1 m de profondeur), il est retenu des excavations et évacuations en filières adaptées de ces sols pollués.

Dans l'objectif de vérifier la maîtrise de la pollution et ainsi contrôler l'absence de migration de la pollution via les eaux souterraines, une surveillance environnementale (bilan quadriennal ; prestation codifiée BQ) est également envisagée.

Le tableau en page suivante présente les coûts de gestion des pollutions concentrées selon le scénario 2 de traitement.

Le budget global du pompage et traitement in situ de la pollution en hydrocarbures, est estimé en 1^{ère} approche à environ **380 k€ HT** (Ingénierie et MOE comprises). Rappelons qu'il a été retenu un aléa de +30% sur les quantités de pollution concentrée au droit du site (incertitude sur les extensions) et que la gestion d'une éventuelle pollution hors site n'a pas été prise en compte (diagnostic environnemental non disponible hors site).

**Tableau 12 : Estimation des coûts de gestion des pollutions concentrées
(SC2 : pompage et traitement in situ des hydrocarbures)**

Poste		Unité	Quantité	Prix U € HT	Prix € HT
	Essais et études Avant-Projet				
1	Essais de pompage et d'extraction de gaz (in situ), pilote d'essai de stripping et de filtration, et PCT	forfait	1	50 000	50 000
	Gestion des pollutions concentrées en hydrocarbures (1 140 m³) (1)				
2	Préparations administrative (référé préventif, CAP, convention de rejet, etc.) et matérielle (clôture, aire de tri, piquetage, etc.)	forfait	1	20 000	20 000
3	Traitement in situ				
3.1	Pompage et traitement in situ (stripping et/ou filtration, adsorption ou traitement physico-chimique) de la pollution en hydrocarbures d'essence (y compris analyses avant rejets)	m³	1 015	50	50 750
3.2	Analyses pour réception des fouilles (y compris sondages/forages)	forfait	1	20 000	20 000
4	Excavation des pollutions concentrées facilement accessibles				
4.1	Extraction et évacuation de la dalle bétonnée existante	m²	750	50	37 500
4.2	Terrassement et tri des sols pollués en hydrocarbures considérés facilement accessibles	m³	350	15	5 250
4.3	Gestion des eaux en fond de fouilles et de ruissellement (y compris pompage, traitement et analyses avant rejet)	semaine	2	4 000	8 000
4.4	Analyses pour réception des fouilles	forfait	1	6 000	6 000
5	Chargement, transport et élimination en filière adaptée (2)(3)				
5.1	en ISD-Inertes	tonne	pm	15	-
5.2	en biocentre	tonne	396	100	39 600
5.3	en ISD dite « classe 3 + »	tonne	pm	80	-
5.4	en ISD-Non Dangereux	tonne	234	120	28 080
5.5	en ISD-Dangereux	tonne	pm	200	-
5.6	Inertage et élimination d'un cuve enterrée de 10-15 m³ (élimination du contenu compris)	unité	2	7 000	14 000
	Remblaiement des fouilles				
6	Remblaiement du fond de fouille à l'aide de matériaux de carrière ou concassés (grave 0-31,5 ou 0-80 mm)	m3	350	30	10 500
	TOTAL gestion des pollutions concentrées				289 680
	Ingénierie des travaux de réhabilitation des sols (hors déconstruction/construction)				
7	MOE et Contrôles extérieurs	%	15	-	43 452
	Bilan quadriennal sur les eaux souterraines				
8.1	Création de 3 piézomètres, sécurisation de l'implantation incluse	forfait	1	8 000	8 000
8.2	Suivi semestriel de la qualité environnementale de la nappe souterraine (sur 3 piézomètres) - 4 ans	unité	8	4 000	32 000
8.3	Etablissement du bilan quadriennal (prestation codifiée BQ)	forfait	1	5 000	5 000
8.4	Suivi de la qualité environnementale des eaux souterraines au-delà de 4 ans	Non estimé à ce stade			
	TOTAL gestion de source concentrée (y compris MOE)				378 132

(1) Incertitudes sur les extensions de la pollution en profondeur

(2) Sous-réserve de l'acceptation des filières (obtention de CAP (Certificat d'Acceptation Préalable))

(3) TGAP comprise

Remarque : densité des sols prise en compte dans les calculs = 1,8

7.6.7 Scénario 3 « Oxydation chimique in situ »

Ce scénario consiste principalement à injecter un réactif chimique (oxydant) dans les sols, afin d'oxyder in situ la pollution en hydrocarbures d'essence. Les principes des techniques de traitement associées à ce scénario sont présentés au § 7.4.2.

Rappelons que cette solution de gestion devra être **préalablement validée** avec des essais en laboratoire et de terrain (voir chapitre 7.6.2).

Par ailleurs, et concernant les remblais superficiels impactés en hydrocarbures faiblement volatils, il est retenu des excavations et évacuations en filières adaptées de ces sols pollués.

Dans l'objectif de vérifier la maîtrise de la pollution et ainsi contrôler l'absence de migration de la pollution via les eaux souterraines, une surveillance environnementale (bilan quadriennal ; prestation codifiée BQ) est également envisagée.

Le tableau en page suivante présente les coûts de gestion des pollutions concentrées selon le scénario 3 de traitement.

Le budget global de l'oxydation in situ de la pollution en hydrocarbures, est estimé en 1^{ère} approche à environ 450 k€ HT (Ingénierie et MOE comprises). Rappelons qu'il a été retenu un aléa de +30% sur les quantités de pollution concentrée au droit du site (incertitude sur les extensions) et que la gestion d'une éventuelle pollution hors site n'a pas été prise en compte (diagnostic environnemental non disponible hors site).

**Tableau 13 : Estimation des coûts de gestion des pollutions concentrées
(SC3 : oxydation chimique in situ des hydrocarbures)**

	Poste	Unité	Quantité	Prix U € HT	Prix € HT
1	Essais et études Avant-Projet				
1.1	Essais de perméabilité des sols et d'injection (in situ), étude de faisabilité de l'oxydation chimique (en laboratoire) et PCT	forfait	1	40 000	40 000
1.2	Etudes géotechniques et de structure (essais en laboratoire sur sols traités, expertise)	forfait	1	10 000	10 000
	Gestion des pollutions concentrées en hydrocarbures (1 140 m3) (1)				
2	Préparations administrative (référé préventif, CAP, convention de rejet, etc.) et matérielle (clôture, aire de tri, piquetage, etc.)	forfait	1	20 000	20 000
3	Traitement in situ				
3.1	Traitement in-situ par oxydation chimique (réseau de puits pour l'injection, la récupération des oxydants et le suivi du process)	tonne	2 223	75	166 725
3.2	Analyses pour réception des fouilles (y compris sondages/forages)	forfait	1	20 000	20 000
4	Excavation des pollutions concentrées facilement accessibles				
4.1	Extraction et évacuation de la dalle bétonnée existante	m²	750	50	37 500
4.2	Terrassement et tri des sols pollués en hydrocarbures faiblement volatils et considérés facilement accessibles	m³	130	15	1 950
4.3	Gestion des eaux en fond de fouilles et de ruissellement (y compris pompage, traitement et analyses avant rejet)	semaine	1	4 000	4 000
4.4	Analyses pour réception des fouilles	forfait	1	6 000	6 000
5	Chargement, transport et élimination en filière adaptée (2)(3)				
5.1	en ISD-Inertes	tonne	pm	15	-
5.2	en biocentre	tonne	pm	100	-
5.3	en ISD dite « classe 3 + »	tonne	pm	80	-
5.4	en ISD-Non Dangereux	tonne	234	120	28 080
5.5	en ISD-Dangereux	tonne	pm	200	-
5.6	Inertage et élimination d'un cuve enterrée de 10-15 m³ (élimination du contenu compris)	forfait	2	7 000	14 000
	Remblaiement des fouilles				
6	Remblaiement du fond de fouille à l'aide de matériaux de carrière ou concassés (grave 0-31,5 ou 0-80 mm)	m³	130	30	3 900
	TOTAL gestion des pollutions concentrées				352 155
	Ingénierie des travaux de réhabilitation des sols (hors déconstruction/construction)				
7	MOE et Contrôles extérieurs	%	15	-	52 823
	Bilan quadriennal sur les eaux souterraines				
8.1	Création de 3 piézomètres, sécurisation de l'implantation incluse	forfait	1	8 000	8 000
8.2	Suivi semestriel de la qualité environnementale de la nappe souterraine (sur 3 piézomètres) - 4 ans	unité	8	4 000	32 000
8.3	Etablissement du bilan quadriennal (prestation codifiée BQ)	forfait	1	5 000	5 000
8.4	Suivi de la qualité environnementale des eaux souterraines au-delà de 4 ans	Non estimé à ce stade			
	TOTAL gestion de source concentrée (y compris MOE)				449 978

(1) Incertitudes sur les extensions de la pollution en profondeur

(2) Sous-réserve de l'acceptation des filières (obtention de CAP (Certificat d'Acceptation Préalable))

(3) TGAP comprise

Remarque : densité des sols prise en compte dans les calculs = 1,8

7.6.8 Scénario 4 « *excavation/évacuation en filière adaptée et biodégradation in situ* »

Ce scénario consiste à excaver et évacuer en filières adaptées les sols pollués et facilement accessibles, au droit du site étudié. Les principes des techniques de traitement associées à ce scénario sont présentés au § 7.4.2.

En complément, la biodégradation dynamisée in situ (ou Atténuation Naturelle Contrôlée) est proposée pour la pollution en hydrocarbures considérée peu accessible au droit des anciennes cuves à carburants (Zone Saturée ou risque élevé de désordre sur les structures environnantes). Rappelons que cette solution de gestion devra être **préalablement validée** avec des essais en laboratoire et de terrain (voir chapitre 7.6.2).

Dans l'objectif de vérifier la maîtrise de la pollution et ainsi contrôler l'absence de migration de la pollution via les eaux souterraines, une surveillance environnementale (bilan quadriennal ; prestation codifiée BQ) est également envisagée.

Le tableau en page suivante présente les coûts de gestion des pollutions concentrées selon le scénario 4 de traitement.

Le budget global des excavations et évacuations des pollutions concentrées facilement accessibles (jusqu'à 3 m de profondeur), est estimé en 1^{ère} approche à environ **590 k€ HT** (Ingénierie et MOE comprises). Rappelons qu'il a été retenu un aléa de +30% sur les quantités de pollution concentrée au droit du site (incertitude sur les extensions) et que la gestion d'une éventuelle pollution hors site n'a pas été prise en compte (diagnostic environnemental non disponible hors site).

**Tableau 14 : Estimation des coûts de gestion des pollutions concentrées
(SC4 : excavation/évacuation en filière adaptée, puis biodégradation in situ)**

Poste	Unité	Quantité	Prix U € HT	Prix € HT
Essais et études Avant-Projet				
1 Etude de la biodégradation in situ (en laboratoire et in situ), et PCT	forfait	1	23 500	23 500
Gestion des pollutions concentrées en hydrocarbures (1 140 m3) (1)				
2 Préparations administrative (référé préventif, CAP, convention de rejet, etc.) et matérielle (clôture, aire de tri, piquetage, etc.)	forfait	1	30 000	30 000
3 Excavation des pollutions concentrées jusqu'à 3 m de profondeur (limite technique)				
3.1 Extraction et évacuation de la dalle bétonnée existante	m ²	750	50	37 500
3.2 Terrassement et tri des sols pollués en hydrocarbures faiblement volatils et considérés facilement accessibles	m ³	350	15	5 250
3.3 Terrassement et tri de sols pollués en hydrocarbures d'essence (jusqu'à 3 m de profondeur) <u>sous tente de confinement</u>	m ³	572	45	25 740
3.4 Blindage à double glissière (jusqu'à 3 m de profondeur ; périmètre de fouille estimé à 75 m)	forfait	1	60 000	60 000
3.5 Blindage par rideau provisoire de palplanches métalliques (jusqu'à 3 m de profondeur ; périmètre de fouille estimé à 75 m)	m linéaire de rideau	pm	2 000	-
3.6 Traitement par adsorption des gaz de ventilation (y compris contrôles et analyses avant rejet)	semaine	5	3 000	15 000
3.7 Gestion des eaux en fond de fouilles et de ruissellement (y compris pompage, traitement et analyses avant rejet)	semaine	6	2 000	12 000
3.8 Analyses pour réception des fouilles	forfait	1	12 000	12 000
4 Chargement, transport et élimination en filière adaptée (2)(3)				
4.1 en ISD-Inertes	tonne	pm	15	-
4.2 en biocentre	tonne	1 250	100	125 000
4.3 en ISD dite « classe 3 + »	tonne	pm	80	-
4.4 en ISD-Non Dangereux	tonne	410	120	49 200
4.5 en ISD-Dangereux	tonne	pm	200	-
4.6 Inertage et élimination d'un cuve enterrée de 10-15 m ³ (élimination du contenu compris)	forfait	pm	7 000	-
Remblaiement des fouilles				
5 Remblaiement du fond de fouille à l'aide de matériaux de carrière ou concassés (grave 0-31,5 ou 0-80 mm)	m ³	922	30	27 660
Biodégradation in situ (ou Atténuation naturelle contrôlée)				
6 Biodégradation dynamisée in situ (ou Atténuation Naturelle Contrôlée) sur site	tonne	797	65	51 831
TOTAL gestion des pollutions concentrées				474 641
Ingénierie des travaux de réhabilitation des sols (hors déconstruction/construction)				
7 MOE et Contrôles extérieurs	%	15	-	71 196
Bilan quadriennal sur les eaux souterraines				
8.1 Création de 3 piézomètres, sécurisation de l'implantation incluse	forfait	1	8 000	8 000
8.2 Suivi semestriel de la qualité environnementale de la nappe souterraine (sur 3 piézomètres) - 4 ans	unité	8	4 000	32 000
8.3 Etablissement du bilan quadriennal (prestation codifiée BQ)	forfait	1	5 000	5 000
TOTAL (y compris MOE)				590 837

(1) Sous-réserve de l'acceptation des filières (obtention de CAP (Certificat d'Acceptation Préalable))

(2) TGAP comprise

(3) Incertitudes sur les extensions de la pollution en profondeur

Remarque : densité des sols prise en compte dans les calculs = 1,8

7.7 Bilan coûts-avantages des scénarios de gestion

7.7.1 Sélection des critères pour la cotation des scénarios de gestion

Les critères retenus et les enjeux identifiés sont ceux présentés dans le tableau suivant.

Tableau 15 : Critères et pondération retenus pour le bilan coûts / avantages des scénarios de gestion

Famille de critères	Pondération	Critères	Descriptif du critère
Critère économique	4	Coût de traitement	Spécifique au traitement retenu
		Surveillance	Suivi lors des travaux ou post travaux
		Travaux annexes	Travaux nécessaires pour la mise en œuvre du traitement (gestion des eaux de fond de fouille, blindage, création d'ouvrages pour du traitement in-situ ou d'aires dédiées pour du traitement sur site)
		Etudes complémentaires	Acquisition de données pour conforter le traitement, réalisation de dossier de demande de servitude
Délai	3	Durée du traitement	Durée de traitement <u>hors surveillance</u>
Critère technique	3	Fiabilité	Robustesse de la technique, antériorité de son utilisation
		Atteinte des objectifs	Efficacité du traitement
Critère socio-politique	2	Acceptabilité sociale	Incidence des travaux sur la qualité des milieux (eaux souterraines, superficielles, sols, gaz du sol et air atmosphérique) Incidence des travaux sur la qualité de vie des riverains
Critère environnemental du chantier	2	Emissions des gaz à effet de serre	Trafic routier, consommation énergétique du traitement
Critères juridique et réglementaire	3	Impact sur le projet : Contraintes résiduelles (restrictions d'usage, surveillance)	Selon le traitement qui sera mis en place, des impacts résiduels pourront être présents dans les sols, etc. La responsabilité du MOA concernant cette pollution résiduelle, est-elle compatible avec le devenir du site (propriété, usage, réalisation de suivis) ? Incidence des impacts résiduels sur le projet (éventuelle modification programmatique)

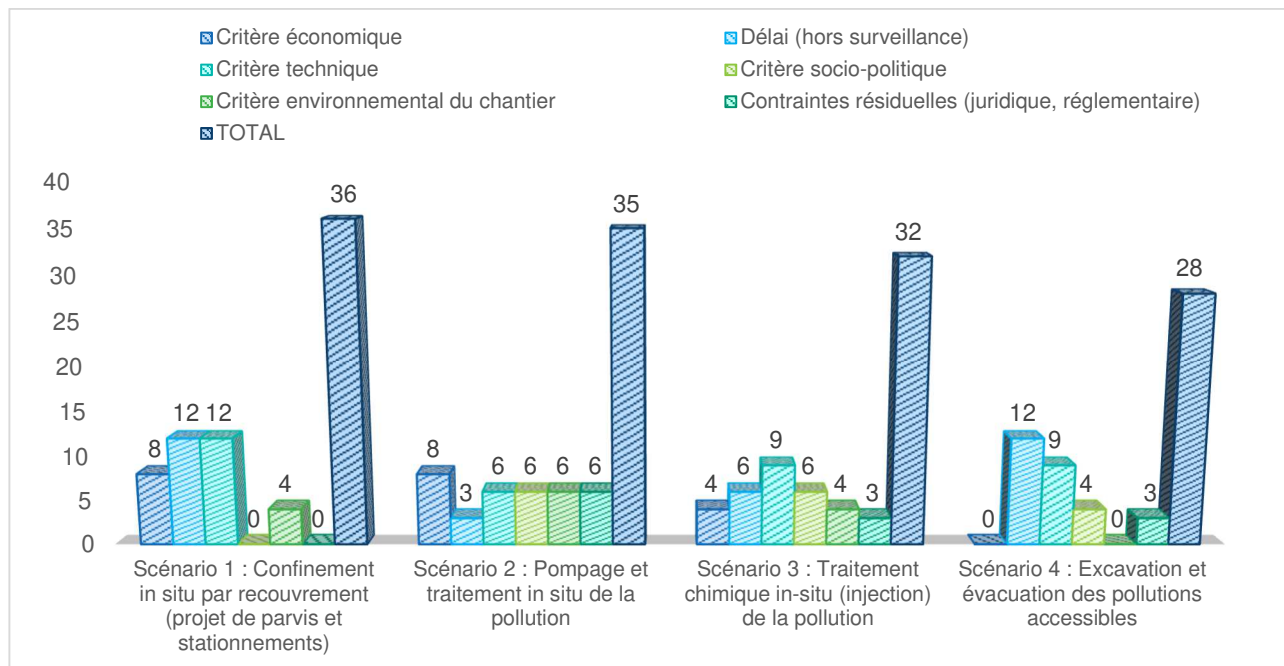
7.7.2 Bilan coûts- avantages

Pour chaque scénario envisagé (scénarios 1 à 4), une note est attribuée pour chacun des critères définis précédemment. La somme des notes conduits à une note globale de chaque scénario. Le tableau suivant présente les résultats du bilan coûts-avantages.

Tableau 16 : Synthèse du bilan coûts/avantages pour les scénarios retenus

	Critère économique	Délai (hors surveillance)	Critère technique	Critère socio-politique	Critère environnemental du chantier	Contraintes résiduelles (juridique, réglementaire)	TOTAL
Pondération	4	3	3	2	2	3	
Scénario 1 : Confinement in situ par recouvrement (projet de parvis et stationnements)	8	12	12	0	4	0	36
Scénario 2 : Pompage et traitement in situ de la pollution	8	3	6	6	6	6	35
Scénario 3 : Traitement chimique in-situ (injection) de la pollution	4	6	9	6	4	3	32
Scénario 4 : Excavation et évacuation des pollutions accessibles	0	12	9	4	0	3	28

Graphique : Synthèse du bilan coûts/avantages



Le scénario 1 serait mieux noté par rapport aux scénarios 2 à 4, en raison essentiellement d'un coût inférieur et d'une durée courte de chantier qui s'avère techniquement simple (excavations limitées avec le confinement des pollutions par recouvrement).

Toutefois, le scénario 1 **contraint fortement** le site (pollution seulement confinée, non traitée) et le projet d'aménagement avec la nécessité d'un usage futur considéré peu sensible, tel qu'un parvis et des stationnements aériens, ainsi qu'une gestion des eaux pluviales en dehors du confinement et de tout impact ou pollution.

A l'inverse, les autres scénarios permettent de maîtriser plus ou moins les impacts/pollutions avec la mise en œuvre de différentes techniques de traitement. Ces scénarios 2 à 4 permettent ainsi de projeter l'aménagement de logements collectifs (aux étages).

Dans ce cadre, le scénario 2 est le mieux noté, en raison d'un coût inférieur et d'impacts environnementaux et géotechniques moindres (traitement in situ et emploi limité de produits chimiques). Toutefois, il présente la contrainte d'un délai long et difficilement maîtrisable de traitement (évalué à 2 ans en 1^{ère} approche).

En outre, le scénario 3 permet de maîtriser à la fois le délai de traitement et les impacts environnementaux (traitement in situ dont l'efficacité élevée reste à démontrer).

Le scénario 4 permet de rapidement « libérer » le site d'une bonne partie de la pollution (hors durée de biodégradation dynamisée in situ) avec l'excavation et l'évacuation de plus de 2/3 de la pollution concentrée. Cependant, sa mise en œuvre est considérée également complexe (difficultés liées notamment au confortement des parois de fouille et à la gestion des eaux de fond de fouille).

Les scénarios 2 à 4 de traitement des pollutions nécessitent par conséquent, des études d'Avant-Projet plus ou moins avancées (notamment pour les traitements in situ des scénarios 2 et 3), afin de lever les incertitudes sur leur faisabilité et efficacité.

Aussi, le scénario 1 présente comme **inconvenient majeur** de ne pas traiter la pollution qui se retrouvera confinée sous le dallage (« *contraintes résiduelles* »).

Par conséquent, la présence d'une pollution « *résiduelle* » constitue une contrainte avec la mise en œuvre de restrictions d'usage et une surveillance accrue des milieux (bilan quadriennal des eaux souterraines recommandé, et suivi vraisemblablement à poursuivre).

Notons que dans le cas d'un suivi semestriel de la qualité des eaux souterraines sur une durée de 30 ans (scénario 1), le surcoût de gestion de la pollution serait estimé en 1^{ère} approche à 250 k€ HT, soit un montant global de 560 k€ HT (scénario 1) devenant supérieur à ceux des scénarios 2 et 3.

De plus, la présence d'une pollution résiduelle considérée difficilement accessible (avec probablement une extension hors site de la pollution en hydrocarbures, au droit de la rue de Pont-Aven, de la parcelle AX72 voisine, voire au-delà) constitue une contrainte avec *a minima* des restrictions d'usage et une surveillance accrue des milieux (bilan quadriennal des eaux souterraines recommandé *a minima*).

Il est important de rappeler que le Plan de Gestion est un outil d'aide à la décision pour le Maître d'ouvrage et qu'il n'a pas vocation à être conclusif quant au scénario de gestion à mettre en place. La décision finale, son application et les responsabilités qui en découlent, reviennent au Maître d'ouvrage.

7.8 Etudes pour finaliser le choix du scénario de gestion

Afin de définir le scénario à retenir au final pour la gestion des pollutions, et de préciser leur dimensionnement et coûts, des études complémentaires sont recommandées, avec :

- **des études hydrogéologique et géotechnique (voire l'expertise d'un Bureau d'Etude Technique « *structure* ») :**
 - Scénarios 2 et 3 : pour les travaux de pompage et/ou d'injection au droit et aux abords immédiats de bâtiments et avoisinants (notamment en limite parcellaire avec la parcelle AX72 (hors site) et la voirie de la rue de Pont-Aven) ;
 - Scénario 4 : pour les travaux en excavation au droit et aux abords immédiats de bâtiments et avoisinants (notamment en limite parcellaire avec le mur mitoyen de la parcelle AX72 (hors site), le mur de soutènement en bordure Sud du site, ainsi que la voirie de la rue de Pont-Aven) ;
- **des essais de traitabilité/faisabilité de traitement, avec :**
 - Scénario 2 : des essais in situ de pompage et/ou d'extraction multiphasique, ainsi que de séparation de phases sur site (pilote de stripping et/ou filtration/adsorption) ;
 - Scénario 3 : des essais in situ d'injection : *en cours* ;
 - Scénario 4 : une étude préalable spécifique de la biodégradation in situ (essais de faisabilité E2 et E3), afin de reconnaître le mécanisme/processus actuel de biodégradation des polluants et d'en déduire sa cinétique, ainsi que les éventuels moyens de stimulation de la croissance des micro-organismes présents dans le milieu souterrain.

Le cas échéant, **un Plan de Conception de Travaux** (prestation codifiée PCT selon la norme NF X 31-620) doit être établi ;

- pour la gestion hors site de pollutions (évacuation) : l'évacuation en filière adaptée devra faire l'objet de validations (consultation préalable de filières) avec notamment, l'obtention de certificat d'acceptation préalable (CAP).

7.9 Canalisations d'amenée des eaux potables

En 1^{er} lieu, nous recommandons l'abandon et la condamnation des anciennes canalisations d'amenée d'eau potable (AEP) dans les règles de l'art.

Compte tenu des pollutions diagnostiquées dans le terrain et des mesures de gestion retenues, il est préconisé par défaut l'emploi de canalisations et joints renforcés (en fonte ou en matériau multicouche anti-perméation) enfouies au sein de matériaux propres et sains.

7.10 Contrôle des travaux et Prévention des risques

Les préconisations spécifiques décrites ci-après sont valables quel que soit la solution de traitement retenue.

7.10.1 Prévention des risques sanitaires en phase chantier

Compte tenu de la pollution constatée, il est préconisé le strict respect des consignes habituelles d'hygiène et de sécurité du domaine du BTP lors de la réalisation du chantier, afin de réduire autant que possible le contact avec les sols et les polluants dispersés dans l'air, notamment : port de chaussures ou bottes de sécurité, port de gants étanches, si besoin port de masque respiratoire filtrant (à poussières ou à cartouche filtrante), limitation des envols de poussières.

Les consignes de sécurité seront détaillées dans le CCTP pour les travaux et devront être reprises et validées par le coordonnateur SPS désigné pour le chantier.

7.10.2 Suivi des travaux de gestion des déblais impactés

Conformément aux prescriptions de la méthodologie nationale, les travaux de traitement des sols impactés pourront être contrôlés par un organisme extérieur (AMO ou Maître d'œuvre par exemple). Un suivi de la qualité des sols, des eaux souterraines et des gaz du sol sera mis en place au cours des travaux de traitement, afin de vérifier le bon déroulement des techniques de traitement employées.

Dans ce cadre, la conception et la réalisation des travaux de gestion des pollutions, pourront être suivies par ce prestataire spécialisé. *A minima*, il conviendra à ce prestataire de :

- procéder à la rédaction d'un cahier des charges et d'aider au choix de l'entreprise ;
- réaliser un suivi de chantier éventuellement journalier, lors des travaux d'excavation des sols pollués, et ainsi orienter les matériaux pollués vers le procédé de gestion/traitement (process sur-site, évacuation en filière adaptée, etc.) ;
- réaliser une caractérisation des matériaux laissés en place en fond et flancs des zones excavées et/ou présentant un impact résiduel, notamment au droit de l'ancienne cuve enterrée à carburants (pollution profonde) ;
- s'assurer de la traçabilité des matériaux déplacés (revue du registre de chantier, assurance de la bonne émission des bordereaux de suivi de déchets, sollicitation et revu du plan de récolement) ;
- le cas échéant, évaluer les niveaux de risques sanitaires vis-à-vis des pollutions résiduelles (analyse des risques résiduelles ARR, conformément aux textes et outils méthodologiques relatifs à la gestion des sols pollués - note ministérielle et circulaires du 8 février 2007 et avril 2017).

7.10.3 Programme analytique au cours et en fin de travaux (réception)

Dans les sols (fond et parois de fouilles), le programme analytique doit *a minima* concerner l'ensemble des hydrocarbures (TPH (ou Hydrocarbures C5-C40), HAP, BTEX et principaux triméthylbenzènes¹), ainsi que les solvants chlorés (COHV).

Dans les gaz du sol (piézairs créés à la réception des travaux), le programme analytique doit *a minima* concerner les hydrocarbures TPH, le naphthalène, les BTEX et principaux triméthylbenzènes, ainsi que les solvants chlorés (COHV).

¹ *a minima*, cumène, pseudocumène et mésitylène

7.10.4 Récolement

Au terme des travaux, l'Entreprise mandataire des travaux de dépollution, rédigera un dossier de récolement qui comprendra *a minima* les éléments suivants :

- le détail des opérations réalisées (zones traitées, nature des procédés de traitement, etc.), ainsi que le journal du chantier ;
- les types d'analyses effectuées sur les différents milieux, ainsi que la localisation précise des prélèvements de contrôle ;
- un plan topographique recensant les zones traitées, excavées ou confinées (notamment au droit des anciennes cuves enterrées de carburants avec des pollution dans les sols profonds difficilement accessibles) ;
- le bilan des déchets/matériaux traités sur site ou évacués en filière adaptée ;
- l'ensemble des BSD (Bordereaux de Suivi de Déchets) ;
- les bons de pesée des matériaux apportés ;
- un état des lieux des pollutions résiduelles (notamment la localisation précise des prélèvements de contrôle), et avec le cas échéant, l'émission d'une attestation de dépollution/réhabilitation.

7.10.5 Analyse des risques résiduels après travaux

Dans le cadre de la réception des travaux, le Maître d'ouvrage fera procéder à l'Analyse des Risques Résiduels (ARR ; conformément aux textes et outils méthodologiques relatifs à la gestion des sols pollués - note ministérielle et circulaires du 8 février 2007 révisés en 2017).

Le coût de l'ARR à l'issue du chantier est estimé à environ 3 - 4 k€ HT.

7.10.6 Suivi environnemental de la qualité de la nappe souterraine

Quelques soit les mesures de gestion des pollutions, le suivi périodique (trimestriel ou semestriel) de la qualité environnementale de la nappe souterraine est recommandé sur 4 ans minimum (bilan quadriennal ; poursuite éventuelle de la surveillance dans le cas d'une dégradation continue du milieu).

Pour un bilan quadriennal (4 années) de la nappe souterraine (à partir de 3 piézomètres), le montant du suivi semestriel est estimé à environ 4 k€ HT/campagne, soit un montant global de **45 k€ HT** (y compris la création de 3 nouveaux piézomètres).

Ce montant global est porté à environ **60 k€ HT** dans le cadre de pollutions confinées in situ (scénario 1) et nécessitant un suivi accru à l'aide de 5 piézomètres.

Rappelons que dans le cas d'un suivi semestriel de la qualité des eaux souterraines sur une durée de 30 ans (en référence à la durée de suivi pour les anciennes décharges d'ordures ménagères), le surcoût de suivi des eaux souterraines serait estimé à **250 k€ HT** en 1^{ère} approche (scénario 1).

De plus, un surcoût de 32 k€ HT est à considérer dans le cas d'un suivi sur les gaz du sol sur 4 ans (à partir de 3 piézomètres).

Le programme analytique doit *a minima* concerner l'ensemble des hydrocarbures (TPH (ou HC C5-C40), BTEX, HAP) et les solvants chlorés (COHV), ainsi que les principaux anions dans les eaux.

8. Schéma conceptuel avec mesures de gestion

Tenant compte des mesures de gestion des pollutions, le schéma conceptuel est présenté et discuté dans le tableau suivant. Il est établi au droit de l'ancien atelier mécanique (parcelles AX490 et 491) et vis-à-vis des usages projetés.

Tableau 17 : Schéma conceptuel des usages futurs (avec mesures de gestion)

Impacts résiduels	<p>Suite à la mise-en-œuvre des mesures de réhabilitation du terrain (Plan de gestion), les sols sont susceptibles de présenter les impacts résiduels suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> en hydrocarbures dans les sols traités/confinés, notamment au droit des anciennes cuves à carburants, au centre du site ; en solvants chlorés diagnostiqués initialement dans les gaz du sol.
Enjeux à considérer	<p>Les enjeux à considérer sur site sont les futurs usagers du site, avec :</p> <ol style="list-style-type: none"> <u>des adultes/enfants de passage</u> (projet de parvis) ; <u>des travailleurs et résidents adultes/enfants</u> (projet de logements aux étages et de bureaux/commerce en RDC). <p>Compte tenu des incertitudes sur les extensions hors site de l'impact en hydrocarbures/solvants et sur la nature des usages (projets d'aménagement envisagés à l'Est du site étudié), les enjeux hors-site ne sont traités dans la suite du document.</p>
Voies de transfert depuis les milieux impactés vers les milieux d'exposition	<p>Au droit des zones recouvertes par un bâtiment ou un revêtement spécifique (enrobé, etc.), la voie de transfert à considérer est la volatilisation des composés volatils.</p> <p>Compte tenu du recouvrement systématique des sols (dallage surmontant 1 m d'épaisseur de remblai sain), l'envol de poussières contenant des polluants et l'export de polluants par les eaux de ruissellement ne sont pas considérés.</p> <p>Etant donné la mesure de remblaiement par du matériau sain et sur 1 m d'épaisseur, la perméation des composés vers les canalisations d'eau potable n'est pas considérée à ce stade.</p> <p>De plus, en l'absence de potager, le transfert vers les végétaux cultivés n'est pas retenu.</p>
Voies d'exposition sur site	<p>Au droit des zones recouvertes, la seule voie d'exposition à considérer est <u>l'inhalation de polluants volatils</u> issus du milieu souterrain (ZNS).</p> <p>Au droit du site étudié, les voies d'exposition suivantes sont considérées supprimées :</p> <ul style="list-style-type: none"> l'inhalation de poussières ; l'ingestion de sols et poussières contenant des polluants ; l'ingestion des eaux ayant transité dans les canalisations ; l'ingestion de végétaux cultivés sur site.

Le schéma conceptuel mis-à-jour (avec mesures de gestion) est présenté sur les figures en pages suivantes.

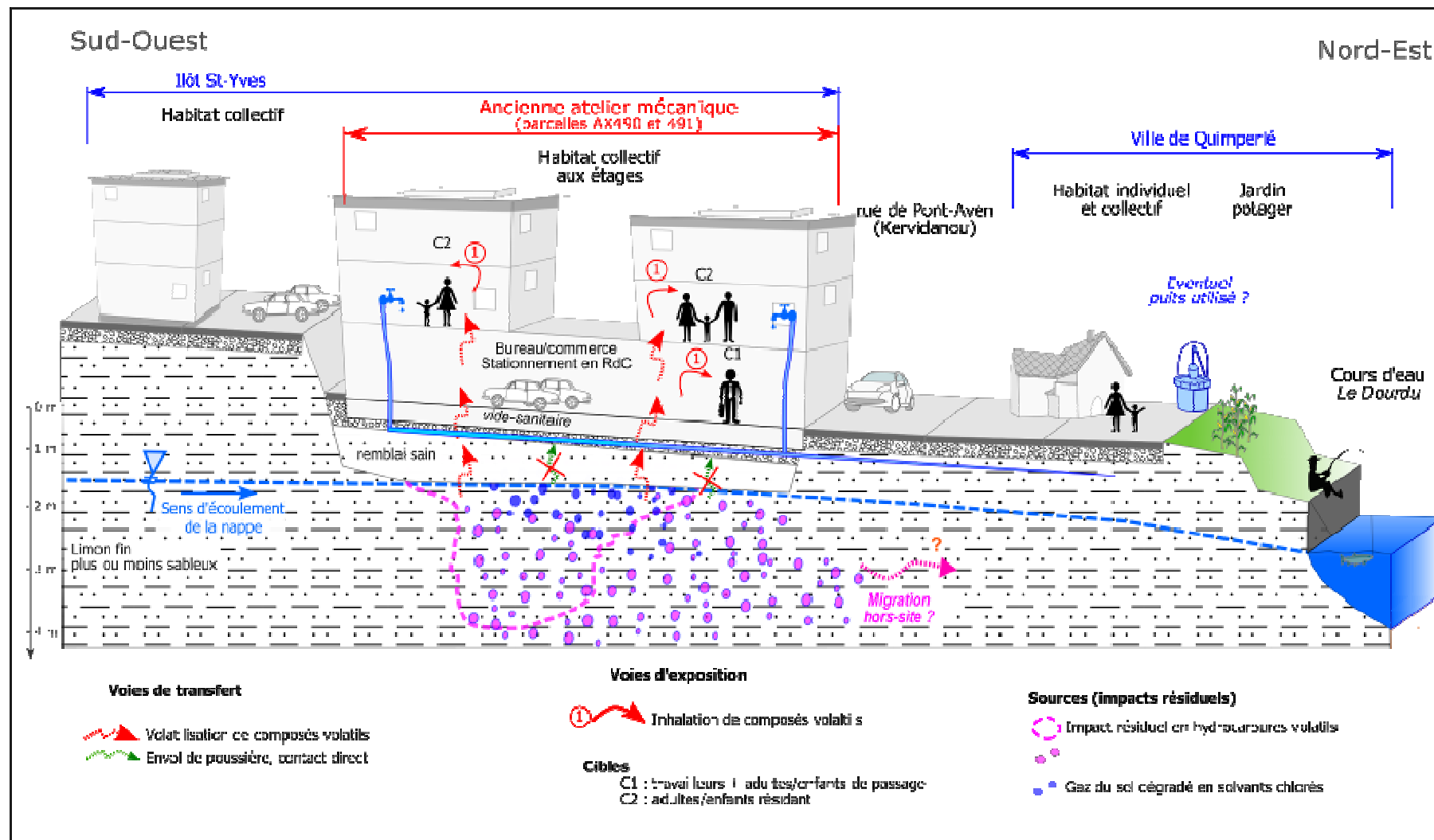


Figure 9a : Schéma conceptuel (usages d'habitat aux étages) - avec mesures de gestion

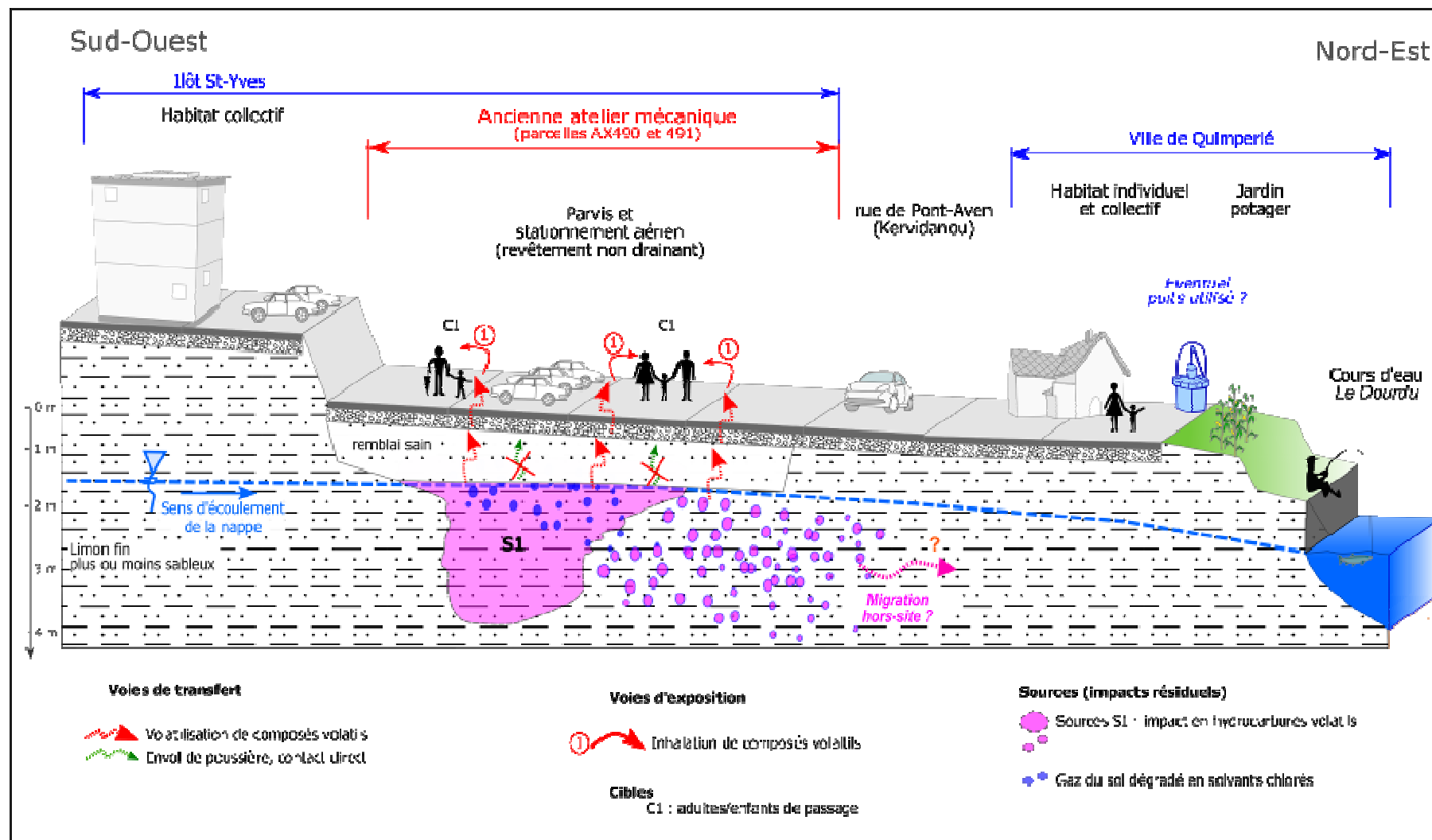


Figure 9b : Schéma conceptuel (usage futur de parvis) - avec mesures de gestion

9. Analyse des Risques Résiduels (ARR-A320) - Synthèse

L'Analyse des Risques Résiduels (ARR-A320), présentée en **Annexe 3**, consiste à vérifier que l'état des milieux « *estimée* » après réhabilitation est compatible avec les usages futurs. Cette analyse qui repose sur le schéma conceptuel final (voir les **Figures 9a et 9b** en pages précédentes) est ici réalisée *a priori*, les travaux n'ayant pas encore été réalisés.

Dans ce contexte, la modélisation cherche à valider les objectifs de réhabilitation (ou seuils de coupure) préconisés pour les sols après travaux.

Une approche « majorante » de l'exposition est globalement retenue avec une modélisation à partir d'impacts résiduels en hydrocarbures de type TPH et en BTEX dans les sols (objectifs de réhabilitation ou teneurs « *résiduelles* » sous confinement (scénario 1)), tout en tenant compte de polluants mesurés en naphtalène et triméthylbenzènes dans les sols, ainsi qu'en COHV dans les gaz du sol (lors de diagnostics antérieurs ; avant les travaux de gestion des pollutions).

9.1 Scénario d'exposition retenu et modèle de calculs

Les enjeux à considérer sur site sont les futurs usagers du site, avec :

- Projet de parvis avec stationnement aérien : les adultes/enfants de passage ;
- Projet de bureaux/commerces/stationnement au RdC et de logements collectifs aux étages (construction sur vide-sanitaire) : les travailleurs adultes et les résidents adultes/enfants.

Dans le cadre de l'exposition en extérieur (parvis et stationnement aérien), la modélisation est conduite sur la base des équations de Millington et Quirk (1981), ainsi que de l'équation de Fick.

Notons que seule la caractéristique d'une construction sur vide-sanitaire (futur bâtiment sans sous-sol) est connue. Dans ce contexte, la modélisation des expositions a été conduite avec le modèle de VOLASOIL® (Waitz *et al.*, 1996) est adaptée aux constructions sur vide-sanitaire.

Dans le cadre de l'étude de la sensibilité de l'ARR (*cf.* chapitre dédié aux incertitudes), la modélisation des expositions a également été conduite avec la prise en compte d'un dallage indépendant ou de type radier.

Compte tenu des incertitudes sur les extensions hors site de la pollution et sur la nature des usages (projets d'aménagement envisagés à l'Est du site étudié), les enjeux hors-site ne sont pas pris en compte dans la présente ARR. Une Interprétation de l'Etat des Milieux (IEM) est toutefois recommandée.

9.2 Milieux et composés pris en compte

La synthèse des investigations sur le site, combinée aux scénarios d'exposition retenus, permet de réaliser la sélection des composés à prendre en compte pour les milieux d'exposition considérés. La principale voie d'exposition retenue est l'inhalation de composés volatils.

Aussi, les concentrations retenues dans les sols (en hydrocarbures de type TPH et en BTEX) correspondent soit aux teneurs « résiduelles » maximales sous confinement (projet de parvis et de stationnements), soit aux objectifs de réhabilitation retenus dans le Plan de Gestion.

Pour la modélisation des expositions en intérieur, les objectifs de réhabilitation définis dans les sols, sont ainsi retenus **en 1^{ère} approche**.

Rappelons que pour les substances ne présentant pas d'objectifs de réhabilitation dans les sols, les teneurs maximales mesurées dans les sols en naphtalène et triméthylbenzènes, ainsi qu'en COHV dans les gaz du sol (à partir des investigations menées en 2016, 2018 et juin 2023 (HPC Envirotec et SOCOTEC)), sont également considérées.

Ainsi, l'approche adoptée de l'évaluation des risques sanitaires tend à globalement être « *majorante* ».

9.3 Quantification du risque

Notons que la qualité de l'air ambiant intérieur (en RdC et à l'étage) et extérieur (parvis) présente des teneurs calculées inférieures aux valeurs de bruit de fond, guides/repères ou réglementaires.

Aussi, les niveaux de risque calculés pour la voie par inhalation de vapeur dans la configuration future du site, sont présentés dans les tableaux suivants pour les scénarios d'exposition retenus (voir détails en **Annexe 3**).

Tableau 18 : Synthèse des niveaux modélisés de risque sanitaire pour le scénario « Parvis et stationnement aérien »

	Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)			Effets toxiques à seuil cancérigènes Quotient de danger spécifique (QD)			Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)		
	Adulte de passage	Enfant de passage	Composés tirant le risque	Adulte de passage	Enfant de passage	Composés tirant le risque	Adulte de passage	Enfant de passage	Composés tirant le risque
INHALATION air extérieur avec recouvrement	3.38E-08	7.62E-09	benzène	8.8E-09	1.3E-08	chloroforme (TCmA)	0.005	0.008	benzène
TOTAL	3.4E-08	7.6E-09	-	8.8E-09	1.3E-08	-	0.005	0.008	-

Tableau 19 : Synthèse des niveaux modélisés de risque sanitaire pour le scénario « Immeuble sur vide sanitaire avec Bureaux/commerces en RdC et habitat collectif à l'étage »

	Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)				Effets toxiques à seuil cancérigènes Quotient de danger spécifique (QD)				Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)			
	Adulte Travailleur	Adulte résident	Enfant résident	Composés tirant le risque	Adulte Travailleur	Adulte résident	Enfant résident	Composés tirant le risque	Adulte Travailleur	Adulte résident	Enfant résident	Composés tirant le risque
INHALATION air intérieur dans le lieu de vie Volasol	7.96E-10	2.84E-09	4.27E-10	Naphtalène	1.1E-08	4.2E-08	4.2E-08	Chloroforme (TCmA)	0.002	0.007	0.007	Aliphatic nC>5-nC6
TOTAL	8.0E-10	2.8E-09	4.3E-10	-	1.1E-08	4.2E-08	4.2E-08	-	0.002	0.007	0.007	-

9.4 Conclusion de l'ARR

Dans le cadre de la mission qui nous a été confiée, avec les conditions d'études retenues, et en l'état actuel des connaissances scientifiques, les niveaux de risques estimés sont inférieurs aux critères d'acceptabilité tels que définis par la politique nationale de gestion des sites pollués.

Ainsi, l'état environnemental du site dans le cadre du Plan de Gestion (prise en compte des objectifs de réhabilitation et du confinement par couverture de la pollution résiduelle (construction sur vide-sanitaire avec dallage imperméable et matériaux sains de minimum 1 m d'épaisseur)), est compatible avec les usages projetés de bureaux/commerces/stationnement en RdC (sur vide-sanitaire) et de logement collectif aux étages, voire celui de parvis associé à du stationnement aérien.

Soulignons que cette conclusion sur la compatibilité de l'état des milieux avec les usages futurs, n'est valable que dans le cadre de la gestion des pollutions au droit du site étudié (*cf.* Plan de Gestion), et devant prévoir :

- selon le scénario de gestion, le traitement des pollutions concentrées en hydrocarbures ;
- a minima, le confinement de la pollution résiduelle (avec un dallage imperméable sur vide-sanitaire et une couche sous-jacente de matériau/remblai sain de 1 m d'épaisseur minimum) ;
- en RdC du futur bâtiment, les usages proscrits de logements (usages prévus de bureaux/commerces, parking et locaux de partie commune (escalier, ascenseur, locaux des vélos et des poubelles)) ;
- l'emploi de canalisations d'alimentation en eau potable (AEP) anti-perméation avec joints renforcés et enfouies au sein de matériaux propres et sains (abandon des anciennes canalisations d'AEP).

Toutes modifications des usages futurs et/ou pollution résiduelle non intégrée dans l'ARR, sont susceptibles d'induire une incompatibilité entre l'état environnemental du terrain et l'usage. Elles nécessiteraient alors des mesures supplémentaires de gestion des pollutions (mise-à-jour du Plan de Gestion).

Afin d'intégrer notamment les nouvelles données sur la qualité environnementale des sols à l'issue des travaux de réhabilitation et de confinement, la compatibilité de l'état résiduel des milieux avec les usages futurs devra être vérifiée à la réception des travaux de réhabilitation (nouvelle ARR en fin de travaux).

10. Conservation de la mémoire et restrictions d'usage

10.1 Cadre et objectifs

Afin de garantir l'adéquation entre les usages et l'état des milieux, la nécessité de la conservation de la mémoire des pollutions résiduelles, par la mise en œuvre de servitudes ou de restrictions d'usage, devra être examinée après la fin des opérations de réaménagement du site.

Toute nouvelle construction devra prendre en compte les pollutions résiduelles qui subsisteront éventuellement et, le cas échéant, mettre en œuvre des mesures constructives appropriées.

En lien avec les mesures de gestion retenues (cf. paragraphes précédents) et en fonction des seuils de remise en état qu'il sera possible d'atteindre techniquement, des restrictions d'usage devront être instituées, afin de garantir dans le temps le respect de ces règles et recommandations. Les objectifs de ces restrictions seront les suivants :

- l'assurance de la protection de la santé humaine et de l'environnement au cours du temps (dont les éventuelles précautions pour la réalisation de travaux d'affouillement, passage de canalisations d'eau, recouvrements, *etc.*) ;
- l'assurance qu'une éventuelle modification de l'usage ne sera possible que si elle est conforme aux définitions des servitudes ou si elle s'accompagne de nouvelles études et/ou de travaux garantissant la compatibilité avec cet usage ;
- la protection du propriétaire du site lors d'éventuels changements d'usage des sols qui ne seraient pas de son fait. Ces éventuels changements d'usage de site pourraient résulter par exemple de modifications de la politique locale d'urbanisme ou de décisions de propriétaires successifs du site ;
- la pérennité de la maintenance de l'état des milieux ou la surveillance du site.

Les restrictions d'usage concernent :

- l'usage des sols en définissant les autorisations et interdictions concernant le type d'activité et de construction ou la nécessité de réaliser des études complémentaires (couverture des sols, *etc.*) ;
- l'usage du sous-sol en définissant les procédures à respecter en cas d'affouillements, de plantations, de pose de canalisation, *etc.* ;
- l'usage des eaux souterraines sur-site.

Il conviendra alors de réaliser un dossier de restrictions d'usages et de servitudes (mission A400 de la norme NFX 31 620).

10.2 Contenu des restrictions à mettre en œuvre au droit du site étudié

Les restrictions d'usage à mettre en œuvre seront portées aux actes notariés et aux hypothèques pour garantir leur pérennité. Les principaux thèmes qui devront y être développés sont rappelés dans le tableau suivant (liste non exhaustive à actualiser en regard des études et travaux à venir).

Tableau 20 : Restrictions d'usage à mettre en œuvre

Restrictions relatives aux usages des sols	Restrictions relatives aux usages du sous-sol	Restrictions relatives aux usages des eaux souterraines
<p>Usages autorisés :</p> <p>Ceux définis dans le Plan de gestion, sous condition que les mesures de gestion proposées soient appliquées :</p> <ul style="list-style-type: none"> site entièrement recouvert d'un dallage reconnu imperméable (absence d'espace vert) ; construction de bâtiment sur vide-sanitaire ; RdC d'un éventuel bâtiment occupé par des bureaux/commerces et du stationnement (absence de logement) ; logements aux étages ; absence de sous-sol. 	<p>Usages autorisés :</p> <p>Les canalisations d'amenée en eau potable devront être mises en place dans des tranchées de matériaux d'apport sains.</p> <p>Abandon préconisé des anciennes canalisations d'AEP.</p> <p>Au droit de la parcelle AX491 (ancienne station de carburants), les canalisations devront être aériennes, ou en matériaux anti-perméation (type tricouche par exemple) et avec des joints renforcés.</p>	<p>Usages autorisés :</p> <p>Aucun usage des eaux souterraines n'est prévu dans la cadre de l'aménagement du site.</p> <p>Tout usage de l'eau au droit du site devra être validé par la réalisation des études adéquates qui devront être validées par l'Administration (par défaut : gestion des eaux pluviales recommandée hors des parcelles AX490 et 491).</p>
<p>Usages non autorisés :</p> <p>Ceux qui ne sont pas mentionnés ci-dessus.</p> <p>Notamment ceux d'ERP sensible (crèche, etc.), en RdC, ainsi que d'espace vert et de culture de fruits-légumes en pleine terre au droit du site.</p> <p>D'une manière générale, tout changement d'usage (notamment avec l'absence d'espace vert) nécessitera la réactualisation d'une étude des risques sanitaires, et le cas échéant, la rédaction d'un nouveau Plan de gestion.</p>	<p>Usages interdits :</p> <p>Infiltration d'eau sans étude préalable des risques de lixiviation de substances.</p>	
<p>Prescriptions particulières :</p> <p>Confinement par recouvrement de la pollution résiduelle à l'aide d'une dalle bétonnée (ou toute autre structure pérenne et reconnue imperméable) et de matériau/remblai sain de 1 m d'épaisseur minimum, ainsi que la signalisation (par un géotextile et un grillage avertisseur).</p> <p>Gestion appropriée des déblais en cas de terrassement, traçabilité du devenir de ces déblais et reconstitution de la structure de confinement.</p>	<p>Prescriptions particulières :</p> <p>Dispositions particulières de sécurité, d'organisation de chantier et de gestion des déblais en cas de travaux de terrassement.</p> <p>Etudes nécessaires préalablement à l'infiltration des eaux pluviales dans les zones de recommandations constructives, afin de ne pas lessiver des polluants résiduels vers la nappe.</p>	<p>Prescriptions particulières :</p> <p>A l'issue des travaux de réhabilitation du site : <u>poursuite du suivi de la qualité des eaux de la nappe</u> (bilan quadriennal <i>a minima</i>).</p> <p>Dans le cadre du confinement par couverture de pollution (scénario 1) : <u>surveillance accrue des eaux souterraines et probablement poursuivie sur plusieurs décennies</u>.</p> <p>Conservation des ouvrages de prélèvement (piézomètres) en bon état.</p>

De plus, et dans l'objectif d'informer de l'état des sols apparaissant comme dégradés par la présence de substances polluantes et de la compatibilité entre l'état des sols et l'usage projeté (BRGM), il est recommandé d'ajouter le site étudié à la liste des Secteurs d'Information sur les Sols SIS (démarche de la collectivité auprès de la Préfecture du Finistère).

11. Synthèse et recommandations

11.1 Synthèse non technique (sur 5 pages)

Dans le cadre du projet d'aménagement de l'ancien atelier mécanique localisé au 69, rue de Pont-Aven (Kervidanou) à Quimperlé (29), l'EPF BRETAGNE a missionné GINGER BURGEAP pour l'actualisation du Plan de Gestion des pollutions relevées dans le terrain.

Le site étudié correspond aux parcelles AX490 et 491 (superficie de 766 m²) et inclus au sein du projet de l'îlot Saint-Yves devant faire l'objet d'un permis d'aménager (en cours). Jusqu'en 2002, il se trouvait occupé par un atelier mécanique et une station de distribution de carburants (ancien exploitant LE MEUR). Actuellement, le site étudié est inoccupé (ancien immeuble toujours en place).

Au droit du site étudié (parcelles AX490 et 491), le projet d'aménagement correspond à soit un parvis avec stationnement aérien, soit la construction d'un bâtiment (sur vide-sanitaire ; absence de sous-sol) avec du stationnement et des commerces/bureaux en RdC, ainsi que du logement aux étages.

► Qualité environnementale du terrain (au droit du site étudié)

A l'issue des investigations menées en mai-juin 2023 (SOCOTEC), les diagnostics de pollution mettent en évidence, au droit du site étudié :

- d'un point de vue lithologique :
 - des remblais limoneux de 0,8 à 1 m d'épaisseur et surmontant des limons plus ou moins sableux jusqu'à 5 m de profondeur minimum (arrêt de sondage) ;
 - en mai-juin 2023, seulement une humidité des sols identifiée à partir de 4 m de profondeur, mais avec des niveaux statiques mesurés entre 1,05 et 1,53 m de profondeur sur les piézomètres en juin 2023 (entre 0,75 et 0,89 m de profondeur en février 2018) ;

Le sens d'écoulement de la nappe souterraine est supposé globalement de l'Ouest vers l'Est, en direction du *ruisseau du Dourdu* localisé à environ 200 m à l'Est (sens d'écoulement similaire à celui obtenu en février 2018) ;
- concernant les constats suspects de terrain :
 - aux abords des cuves enterrées, des odeurs parfois fortes d'hydrocarbures relevées dans les sols et les eaux souterraines (phase organique flottante non relevée), à partir de 0,5 m de profondeur (également, des mesures au PID atteignant 220 ppmV) ;
 - à proximité immédiate des anciens volucompteurs et au droit de l'aire de lavage, des odeurs (moyennes) d'hydrocarbures relevées entre 0,5 et 3 m de prof. dans les sols (0 ppmV au PID) ;
 - au droit d'anciens fûts et établis, des odeurs d'hydrocarbures relevées entre 0,1 et 3 m de profondeur (mesures entre 1,5 et 8,4 ppmV au PID) ;
- concernant les résultats d'analyses dans les sols :
 - aux abords des cuves de carburants enterrées au centre de l'atelier mécanique, une pollution significative en hydrocarbures volatils (de type essence), globalement entre 0,1 et 4 m de profondeur minimum. Les investigations complémentaires de juin 2023 permettent de reconnaître certaines extensions latérales de cette pollution en carburant (**extension de la pollution probable hors-site**) ;
 - dans une moindre mesure, aux abords des anciens volucompteurs, une pollution en hydrocarbures volatils (de type essence), entre 0,1 et 2 m de profondeur ;
 - des pollutions en hydrocarbures faiblement volatils (de type huile) en partie Est de l'atelier mécanique (parcelle n°490) et à l'extrémité Sud-Est de l'atelier (parcelle n°491), globalement entre 0,1 et 4 m de profondeur minimum.

Notons que la pollution en hydrocarbures en partie Est de l'atelier mécanique (parcelle n°490), est associée à **un impact en cadmium et plomb** au sein du remblai superficiel (entre 0,3 et 1 m de profondeur). Par ailleurs, un impact en plomb est ponctuellement identifié au sein du remblai superficiel, à l'entrée de l'ancien atelier mécanique (jusqu'à 1 m de profondeur) ;

- concernant les analyses dans les eaux souterraines (campagnes de février 2018 et juin 2023) :
 - aux abords des cuves de carburants enterrées, un impact en hydrocarbures (phase organique flottante non relevée) avec des teneurs supérieures au critère de qualité des eaux brutes destinées à la production d'eau potable (annexe II de l'arrêté du 11/01/2007).
Par ailleurs, cet impact n'est pas retrouvé en amont ou aval des cuves enterrées (seulement des traces en hydrocarbures) ;
 - aux abords immédiats des cuves enterrées de carburants (source non assurément identifiée), une dégradation en solvants chlorés avec des teneurs en chlorure de vinyle et dichlorométhane supérieures aux valeurs guides de potabilité établies pour l'eau potable (dans l'Arrêté du 11/01/2007 modifié et/ou par l'OMS (2017)) ;
- concernant les résultats d'analyses sur les gaz du sol (campagnes de février 2018 et juin 2023) :
 - aux abords des cuves enterrées de carburants, un impact en hydrocarbures (notamment en benzène), ainsi qu'une légère dégradation en tétrachloroéthylène ;
 - dans une moindre mesure, à proximité des anciens volucompteurs, une dégradation en hydrocarbures (benzène non retrouvé).

Au regard des aménagements projetés et de la qualité environnementale du terrain, les futurs usagers du site (adultes/enfants en résidence ou de passage) seront exposés par inhalation de polluants volatils issus du sol et par usage des eaux ayant transité dans les canalisations implantées dans des sols pollués.

En vue de la gestion des pollutions concentrées, **des objectifs / seuils de dépollution ont été estimés en hydrocarbures dans les sols.**

La réhabilitation/dépollution des sols doit permettre l'amélioration de la qualité environnementale du terrain au droit du site (« *élimination des pollutions concentrées* »), et à terme, des eaux souterraines et des gaz du sol.

► Enjeux d'une pollution Hors site

Une dégradation des sols en hydrocarbures est constatée en bordure du site étudié (extension probable de la pollution au droit de la rue de Pont Aven, de la parcelle AX72 voisine, voire au-delà), et traduit probablement le phénomène de migration de la pollution (via les eaux souterraines).

Par conséquent, **la démarche d'Interprétation de l'Etat des Milieux est recommandée** (prestation IEM de la norme AFNOR N FX 31-620), afin de s'assurer de la compatibilité de l'état des milieux avec des usages présents (hors site). Cette démarche peut comprendre à la fois, une enquête de quartier sur les usages et caractéristiques des bâtiments voisins, ainsi que sur l'usage de la nappe souterraine et le diagnostic complémentaire de celle-ci.

Dans ce cadre, **un diagnostic complémentaire est préconisé hors-site** sur les milieux Sols, Eaux souterraines, Gaz du sol, Air ambiant et Eaux de robinet.

Notons que dans le cas d'une pollution significative identifiée hors site, le présent Plan de Gestion devra être mis-à-jour.

► Résultats des essais de biodégradation et d'oxydation chimique des hydrocarbures (en laboratoire)

Menés lors du 1^{er} semestre 2024 (GINGER BURGEAP), les essais en laboratoire de traitement des hydrocarbures (essais) mettent en évidence une biodégradation aérobie limitée, mais une bonne efficacité de l'oxydation chimique à l'aide du permanganate de sodium.

Aussi, des essais d'injection in situ d'oxydant ont été menés en décembre 2024, par GINGER BURGEAP et pour le compte de l'EPF BRETAGNE (résultats des essais en cours de traitement).

► Principales contraintes liées au site

Les solutions de gestion des pollutions sont fonction de la nature et des extensions de la pollution concentrée, ainsi que des contraintes liées au projet, avec principalement :

- **la gestion des nuisances** à prévoir en cas de chantier de traitement des pollutions (odeurs et exposition à la pollution, densité et propreté du trafic routier, espaces de stationnement et de stockage de matériels/matériaux, etc.) ;
- **le risque de désordre sur les fondations et murs** de la parcelle AX72 voisine, ainsi que sur la voirie et les réseaux enterrés de la rue de Pont-Aven ;
- **la maîtrise nécessaire des procédés de traitement / dépollution** (notamment de leur influence sur l'écoulement des eaux souterraines et du phénomène de dispersion de polluants).
- ➔ **Etude géotechnique et avis d'experts « structures » recommandés**, notamment dans le cas de travaux en excavation et/ou de traitement in situ.
- ➔ **Etudes hydrogéologique et du NPHE¹ recommandées**, en vue de travaux de traitement et/ou terrassement au niveau des sols saturés en eau.

Dans le cadre d'éventuels travaux en excavation, la nature et l'estimation liées au soutènement de parois de fouille, sont renseignées par défaut (avec le blindage à simple ou double glissière nécessitant l'intervention d'un engin de levage lourd²). Elles devront être vérifiées, en tenant compte notamment de l'expertise du Maître d'œuvre, d'un Bureau d'Etudes en géotechnique, ainsi que d'un Bureau d'Etude Technique « *structure* ».

► Plan de gestion des pollutions (au droit du site étudié)

Les solutions de gestion des pollutions sont fonction de la nature et des extensions des pollutions concentrées, ainsi que du projet d'aménagement dont le plan est inséré en **Annexe 1** du présent rapport (étude pré-opérationnelle datée du 21/09/2016).

Etant donné la nature des pollutions (hydrocarbures plus ou moins volatils) et les extensions dans les sols et la nappe souterraine (**aléa de +30% sur les quantités de pollution concentrée dans les sols**), ainsi que des contraintes d'accessibilité des pollutions, les solutions retenues en 1^{ère} approche sont :

- en 1^{er} lieu (par défaut) : l'excavation et l'évacuation en filière adaptée des remblais superficiels reconnus pollués et considérés facilement accessibles (sur 1 m d'épaisseur, au niveau des sols considérés hors d'eau) ;
- en 2^{ème} lieu (en complément) : la gestion des sols profonds présentant des pollutions concentrées :
 1. le confinement in situ par couverture des pollutions concentrées en hydrocarbures et la surveillance de la qualité des eaux souterraines sur une durée prolongée. Pour ce scénario, seul le projet de parvis et de stationnement aérien pourra être envisagé et devra intégrer une gestion des eaux pluviales en dehors du confinement et de la pollution résiduelle.
 2. le pompage et le traitement in situ (stripping, filtration), voire l'extraction multiphasique in situ des pollutions concentrées en hydrocarbures ;
 3. l'oxydation chimique in situ des pollutions concentrées en hydrocarbures ;
 4. l'excavation et l'évacuation en filière adaptée des pollutions concentrées, ainsi que la biodégradation dynamisée in situ de la pollution difficilement accessible (au-delà de 3 m de profondeur, avec le risque de désordre sur les structures à conserver ou en limite parcellaire).

De plus, la mise en place d'une surveillance environnementale (bilan quadriennal a minima) est envisagée pour vérifier la maîtrise des pollutions et l'évolution favorable des impacts.

Aussi, l'estimation des volumes de sols pollués est établie sur la base des données disponibles sur la qualité environnementale du terrain (**aléa de + 30% retenu**), des objectifs de traitement et du projet de travaux.

Au total et au droit du site étudié, la quantité de sols présentant des pollutions concentrées **en hydrocarbures** est estimée à **1 365 m³ (2 457 tonnes)**.

¹ NPHE : Niveau des Plus Hautes Eaux

² Technique de soutènement par palplanches métalliques non retenue en 1^{ère} approche (étant donné la taille et la profondeur de la fouille).

Par conséquent, le budget global pour l'évacuation des remblais impactés en hydrocarbures jusqu'à 1 m de profondeur (facilement accessibles), puis le confinement in situ (par couverture) de la pollution concentrée (**scénario 1**), est estimé **en 1^{ère} approche à 310 k€ HT** (constitution d'une dalle bétonnée comprise).

Toutefois, le **scénario 1** contraint **fortement** le site et le projet d'aménagement avec la nécessité d'un usage futur considéré peu sensible, tel qu'un parvis et des stationnements aériens, ainsi qu'une gestion des eaux pluviales en dehors du confinement et de tout impact ou pollution (en-dehors des parcelles AX490 et 491).

De plus, ce scénario présente comme inconvenient majeur de ne pas traiter la pollution qui se retrouvera confinée sous le dallage, et qui nécessitera à la fois : des restrictions/servitudes d'usage et une surveillance sur le moyen-long terme (notamment vis-à-vis le risque de migration vers les eaux souterraines ; durée de surveillance supérieure à 4 ans non prise en compte dans l'estimation).

Par ailleurs, le budget global de gestion des pollutions identifiées au droit du site étudié (Ingénierie et MOE comprises), est estimé **en 1^{ère} approche à 380 k€ HT** pour le pompage et le traitement in situ (stripping, filtration) des pollutions concentrées en hydrocarbures (**scénario 2**).

Ce scénario présente toutefois la contrainte d'un délai long et difficilement maîtrisable de traitement (évalué à 2 ans en 1^{ère} approche).

En outre, la dégradation chimique in situ (oxydation) de la pollution en hydrocarbures (**scénario 3**), dont l'efficacité reste à démontrer, atteindrait un montant de travaux **estimé à 450 k€ HT en 1^{ère} approche**.

Aussi, le budget de gestion des pollutions est estimé **en 1^{ère} approche à 590 k€ HT** pour l'excavation et l'évacuation des pollutions concentrées jusqu'à 3 m de profondeur (**scénario 4**), ainsi que la biodégradation dynamisée in situ de la pollution difficilement accessible (au-delà de 3 m de profondeur).

Notons qu'avec l'excavation et l'évacuation des pollutions considérées accessibles (jusqu'à 3 m de prof. ; **scénario 4**), une bonne partie de la pollution concentrée au droit du site étudié (environ 70% du volume de sols pollués) serait ainsi traitée dans des délais courts (quelques mois).

Ces différents budgets pourront évoluer au stade de l'Avant-Projet (ou Plan de Conception des Travaux PCT), à la hausse comme à la baisse, en regard notamment des essais de traitement in situ réalisés en amont.

► Analyse des Risques sanitaires Résiduels (ARR)

Dans le cadre de la mission qui nous a été confiée, avec les conditions d'études retenues, et en l'état actuel des connaissances scientifiques, les niveaux de risques estimés après gestion des sources concentrées, sont inférieurs aux critères d'acceptabilité tels que définis par la politique nationale de gestion des sites pollués.

Ainsi, l'état environnemental du site dans le cadre du Plan de Gestion (prise en compte des objectifs de réhabilitation et du confinement par couverture de la pollution résiduelles (construction sur vide-sanitaire avec dallage imperméable et matériaux sains de minimum 1 m d'épaisseur)), est compatible avec les usages projetés de bureaux/commerces/stationnement en RdC (sur vide-sanitaire) et de logement collectif aux étages, voire celui de parvis associé à du stationnement aérien.

Rappelons que cette conclusion sur la compatibilité de l'état des milieux avec les usages futurs, n'est valable que dans le cadre de la gestion des pollutions concentrées au droit du site étudié, et devant prévoir :

- selon le scénario de gestion, le traitement des pollutions concentrées établies en hydrocarbures ;
- a minima, le confinement de la pollution résiduelle (avec un dallage imperméable sur vide-sanitaire et une couche sous-jacente de matériau/remblai sain de 1 m d'épaisseur minimum) ;
- en RdC du futur bâtiment, les usages proscrits de logements (usages prévus de bureau/commerce, parking et locaux de partie commune (escalier, ascenseur, local des vélos, local des poubelles)) ;
- l'emploi des canalisations d'alimentation en eau potable (AEP) anti-perméation avec joints renforcés et enfouies au sein de matériaux propres et sains (abandon des anciennes canalisations d'AEP).

Toutes modifications des usages futurs et/ou pollution résiduelle non intégrée dans l'ARR, sont susceptibles d'induire une incompatibilité entre l'état environnemental du terrain et l'usage. Elles nécessiteraient alors des mesures supplémentaires de gestion des pollutions (mise-à-jour du Plan de Gestion).

Afin d'intégrer notamment les nouvelles données sur la qualité environnementale des sols à l'issue des travaux de réhabilitation et de confinement, la compatibilité de l'état résiduel des milieux avec les usages futurs devra être vérifiée à la réception des travaux de réhabilitation (nouvelle ARR en fin de travaux).

► Restrictions d'usage au droit du site étudié

Les mesures de gestion mentionnées ci-avant devront être complétées par **la mise en place de restrictions/servitudes d'usage** au droit du site étudié et portant sur (liste à actualiser selon les résultats des études et travaux à venir) :

- l'interdiction de logement et/ou d'ERP sensible (crèche par exemple) en Rez-de-Chaussée ;
- l'interdiction de jardins potagers et d'arbres fruitiers en pleine terre ;
- le confinement par couverture de la pollution résiduelle (dallage imperméable sur vide-sanitaire et du matériau sain de minimum 1 m d'épaisseur) et sa signalisation (géotextile et grillage avertisseur) ;
- la gestion appropriée des déblais en cas de terrassement, avec la traçabilité du devenir des déblais et la reconstitution de la structure de confinement ;
- l'infiltration proscrite d'eau dans les sols, sans étude préalable des risques de migration de polluants résiduels vers la nappe ;
- l'interdiction des usages des eaux souterraines sans étude complémentaire sur le milieu (interdiction à étudier et envisager hors site) ;
- l'emploi de canalisations d'alimentation en eau potable (AEP) anti-perméation avec joints renforcés, et enfouies au sein de matériaux propres (condamnation préconisée des anciennes canalisations) ;
- à l'issue des travaux de réhabilitation du site, la poursuite du suivi de la qualité des eaux souterraines (*a minima* un bilan quadriennal avec notamment la mise en place de nouveaux piézomètres).

Une identification pérenne de ce rapport dans les documents d'urbanisme et fonciers est indispensable au niveau du « *service de conservation des hypothèques* », afin de pouvoir préciser à tout nouvel acheteur/acteur de l'état résiduel de pollution et des limites de réalisation de cette étude.

De plus, et dans l'objectif d'informer de l'état des sols apparaissant comme dégradés par la présence de substances polluantes et de la compatibilité entre l'état des sols et l'usage projeté (BRGM), il est recommandé d'ajouter le site étudié à la liste des Secteurs d'Information sur les Sols SIS (démarche de la collectivité auprès de la Préfecture du Finistère).

11.2 Recommandations

► Situation ICPE

Afin de ne pas ralentir les procédures d'instruction des permis d'aménager et/ou de construire, nous recommandons d'éclaircir la situation administrative du site étudié vis-à-vis de son classement ICPE (Installation Classée pour la Protection de l'Environnement), l'acte de cessation définitive d'activité n'ayant pas été retrouvée (activités de station de carburants et d'atelier mécanique, arrêtées depuis au moins 20 ans).

► Etudes pour finaliser le choix du scénario de gestion

En vue des travaux d'excavation aux abords immédiats de bâtiments et avoisinants (notamment en limite parcellaire avec le mur mitoyen de la parcelle AX72 et proximité immédiate avec la voirie de la rue de Pont-Aven), **une étude géotechnique (voire l'expertise d'un Bureau d'Etude Technique « *structure* »), ainsi qu'une étude hydrogéologique**, devront être réalisées. Ces études sont également recommandées dans le cas de travaux de pompage et de rabattement de nappe souterraine.

Dans l'objectif de dimensionner les techniques de traitement in situ de la pollution en hydrocarbures, des essais in situ (essais de pompage, d'extraction et/ou d'injection ; procédé pilote de stripping et/ou de filtration) sont également recommandés.

Menés en décembre 2024 (GINGER BURGEAP), des essais d'injection in situ d'oxydant semblent avoir été concluants. Les données sont en cours de traitement. Aussi, **le Plan de Conception de Travaux** (prestation codifiée PCT selon la norme NF X 31-620) doit être établi.

► Mission de Maîtrise d'œuvre

Après les études géotechnique et hydrogéologique, des études d'Avant-Projet et de Projet AVP-PRO sont recommandées dans cadre de la maîtrise d'œuvre des travaux de réhabilitation du terrain.

Dans ce cadre, la conception et la réalisation des travaux de gestion des pollutions, pourront être suivies par un Maître d'œuvre ou un AMO. *A minima*, il conviendra à ce prestataire spécialisé de :

- procéder à la rédaction d'un cahier des charges et d'aider au choix de l'Entreprise ;
- réaliser un suivi de chantier, lors des travaux d'excavation des sols pollués, et ainsi orienter les matériaux pollués vers le procédé de gestion/traitement ;
- réaliser une caractérisation des matériaux laissés en place en fond et flancs des zones excavées et/ou présentant un impact résiduel ;
- s'assurer de la traçabilité des matériaux déplacés (revue du registre de chantier, assurance de la bonne émission des bordereaux de suivi de déchets, sollicitation et revu du plan de récolement) ;
- le cas échéant, évaluer les niveaux de risques sanitaires vis-à-vis des pollutions résiduelles (analyse des risques résiduelles ARR) et établir un dossier de restrictions d'usage (prestation SUP).

► Gestion des enjeux hors site

Rappelons qu'une dégradation des sols en hydrocarbures est constatée en bordure du site étudié (extension probable de la pollution au droit de la rue de Pont Aven, de la parcelle AX72 voisine, voire au-delà), et traduit probablement le phénomène de migration de la pollution (via les eaux souterraines).

Par conséquent, **la démarche d'Interprétation de l'Etat des Milieux est recommandée** (prestation IEM de la norme AFNOR N FX 31-620), afin de s'assurer de la compatibilité de l'état des milieux avec des usages présents (hors site). Cette démarche peut comprendre à la fois, une enquête de quartier sur les usages et caractéristiques des bâtiments voisins, ainsi que sur les usages de la nappe souterraine.

Dans ce cadre, **un diagnostic complémentaire est préconisé hors-site** sur les milieux Sols, Eaux souterraines, Gaz du sol, Air ambiant et Eaux de robinet. Ces investigations permettront en outre de préciser le périmètre des restrictions d'usage pour les eaux souterraines.

Rappelons que dans le cas d'une pollution significative identifiée hors site, le Plan de Gestion (avec ARR) devra être mis-à-jour.

12. Limites d'utilisation d'une étude de pollution

1- Une étude de la pollution du milieu souterrain a pour seule fonction de renseigner sur la qualité des sols, des eaux ou des déchets contenus dans le milieu souterrain. Toute utilisation en dehors de ce contexte, dans un but géotechnique par exemple, ne saurait engager la responsabilité de GINGER BURGEAP.

2- Il est précisé que le diagnostic repose sur une reconnaissance du sous-sol réalisée au moyen de sondages répartis sur le site, soit selon un maillage régulier, soit de façon orientée en fonction des informations historiques ou bien encore en fonction de la localisation des installations qui ont été indiquées par l'exploitant comme pouvant être à l'origine d'une pollution. Ce dispositif ne permet pas de lever la totalité des aléas, dont l'extension possible est en relation inverse de la densité du maillage de sondages, et qui sont liés à des hétérogénéités toujours possibles en milieu naturel ou artificiel. Par ailleurs, l'inaccessibilité de certaines zones peut entraîner un défaut d'observation non imputable à notre société.

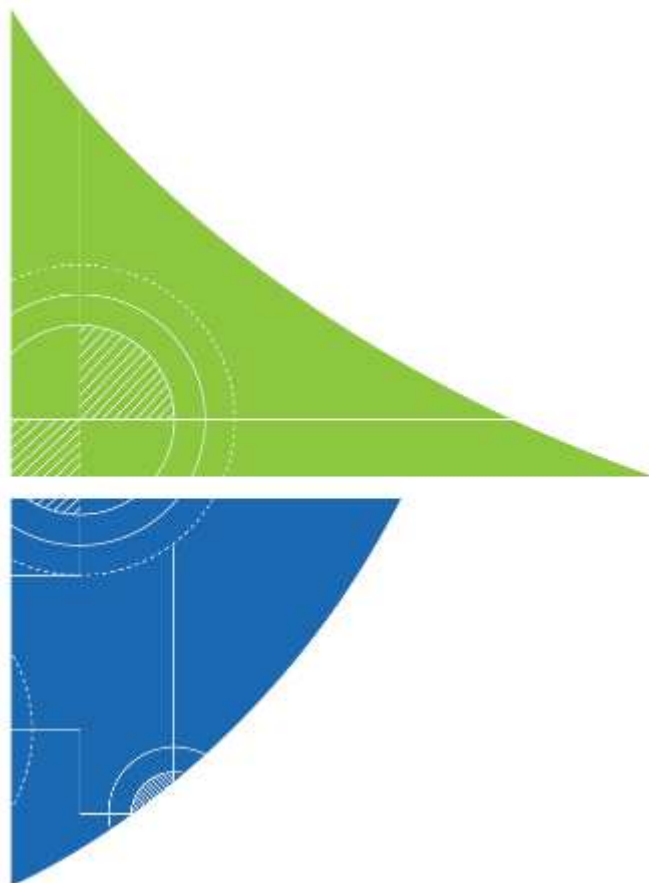
3- Le diagnostic rend compte d'un état du milieu à un instant donné. Des événements ultérieurs au diagnostic (interventions humaines, traitement des terres pour améliorer leurs caractéristiques mécaniques, ou phénomènes naturels) peuvent modifier la situation observée à cet instant.

4- La responsabilité de GINGER BURGEAP ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes et/ou erronées et en cas d'omission, de défaillance et/ou erreur dans les informations communiquées.

5- Un rapport d'étude de pollution et toutes ses annexes identifiées constituent un ensemble indissociable. Dans ce cadre, toute autre interprétation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle ne saurait engager la responsabilité de GINGER BURGEAP. En particulier l'utilisation même partielle de ces résultats et conclusions par un autre maître d'Ouvrage ou pour un autre projet que celui objet de la mission confiée ne pourra en aucun cas engager la responsabilité de GINGER BURGEAP.

6- La responsabilité de GINGER BURGEAP ne pourra être engagée en dehors du cadre de la mission objet du présent mémoire si les préconisations ne sont pas mises en œuvre.

ANNEXES

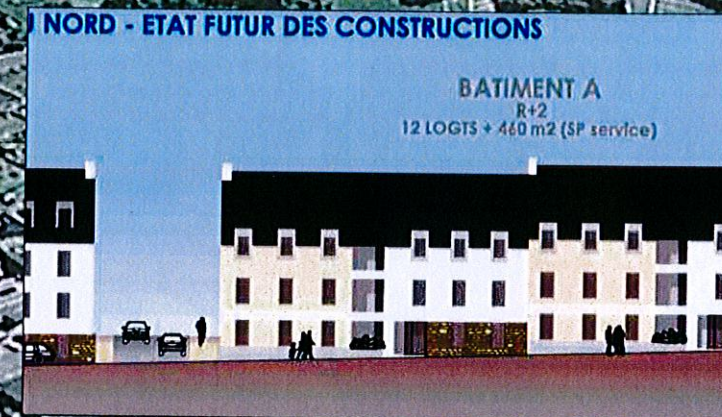
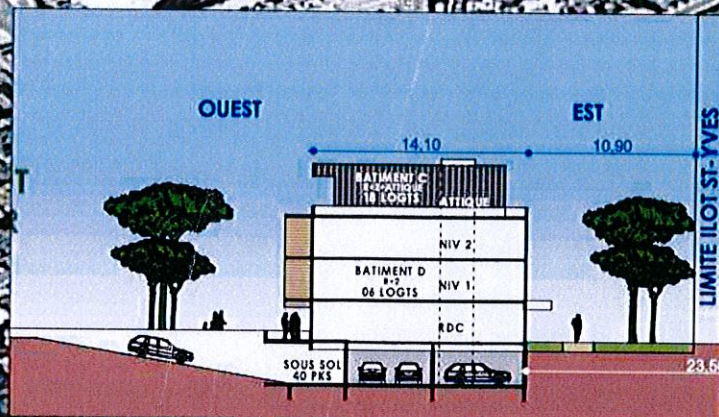


Annexe 1.

Plan de composition du projet d'aménagement

Source : Etude pré-opérationnelle pour la restructuration de l'îlot Saint-Yves (ARCHIPOLE), daté du
21/09/2016

Cette annexe contient 13 pages.



ETUDE PRE-OPERATIONNELLE POUR LA RESTRUCTURATION DE L'ILOT SAINT-YVES ESQUISSE URBAINE / PROGRAMMATION - PHASE 2

VUE AERIEENNE GENERALE DEPUIS L'OUEST



DATE 22/09/16

Éch.:

Réf.: FC

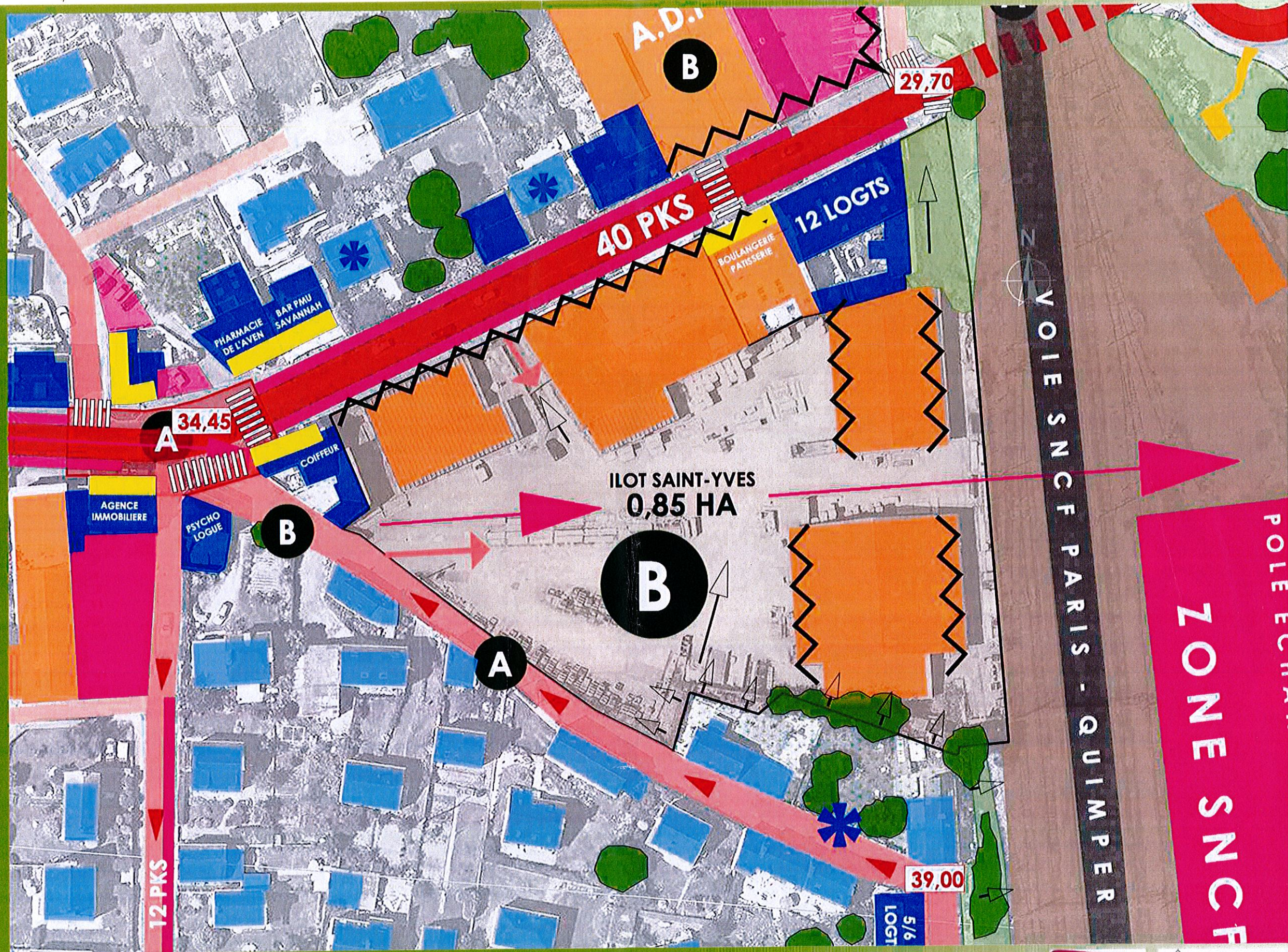
ETUDE PREALABLE A LA REALISATION D'OPERATION D'AMENAGEMENT

VILLE DE QUIMPERLE (29)

DOSSIER ESQUISSE URBAINE / PROGRAMMATION - SEPTEMBRE 2016

FAISA





DATE 21/09/16

Éch.: 1/700

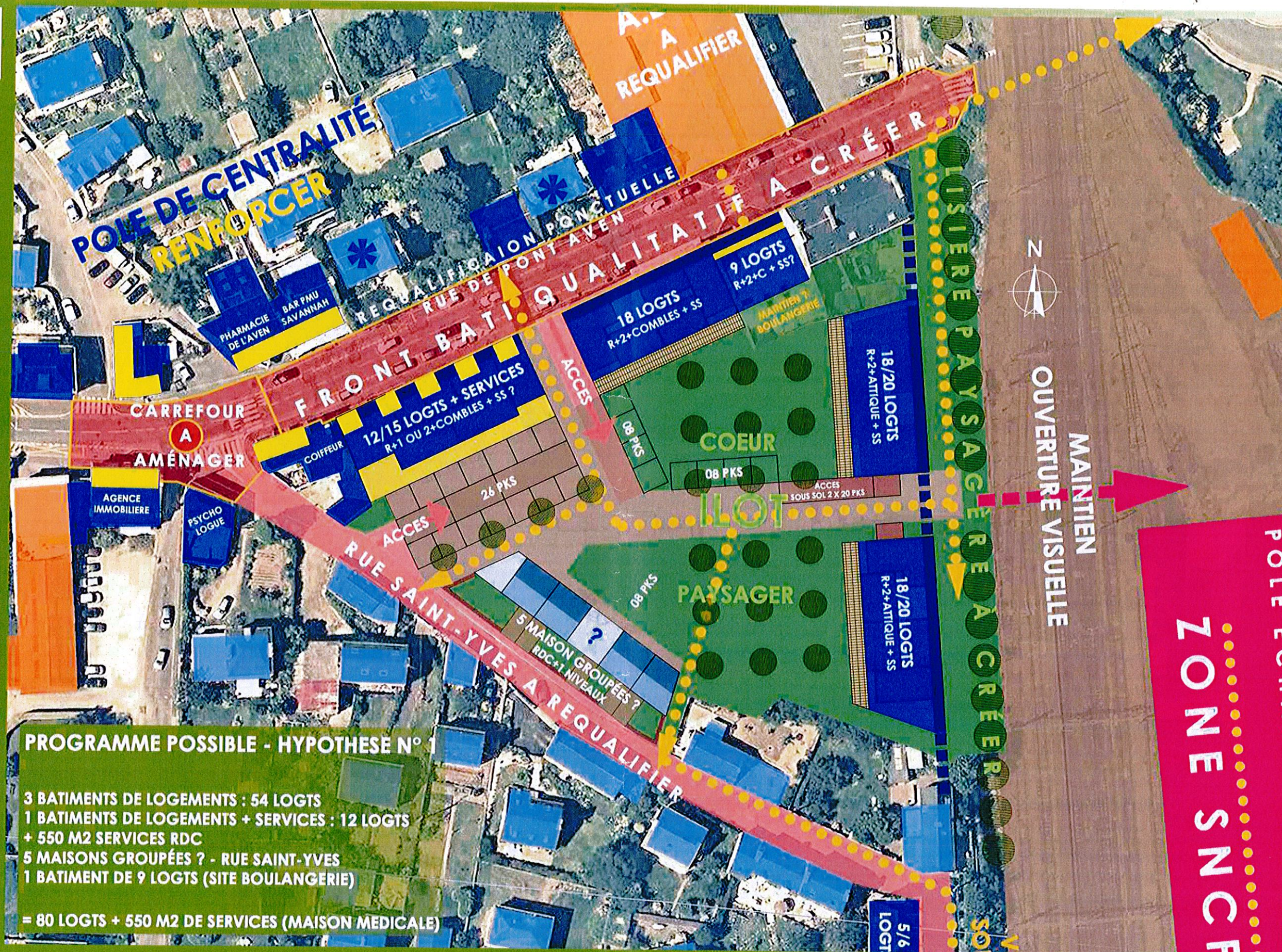
Réf.: FC

ETUDE PREALABLE A LA REALISATION D'OPERATION D'AMENAGEMENT

VILLE DE QUIMPERLÉ (29)

FAISABILITÉ - SYNTHÈSE DIAGNOSTIC
RAPPEL

Site web: archipole.fr



PROGRAMME POSSIBLE - HYPOTHESE N°1

3 BATIMENTS DE LOGEMENTS : 54 LOGTS
1 BATIMENTS DE LOGEMENTS + SERVICES : 12 LOGTS
+ 550 M2 SERVICES RDC
5 MAISONS GROUPEES ? - RUE SAINT-YVES
1 BATIMENT DE 9 LOGTS (SITE BOULANGERIE)
= 80 LOGTS + 550 M2 DE SERVICES (MAISON MEDICALE)



DATE 21/09/16
Éch.: 1/700
Réf.: FC

ETUDE PREALABLE A LA REALISATION D'OPERATION D'AMENAGEMENT
VILLE DE QUIMPERLÉ (29)

FAISABILITÉ - ENJEUX & OBJECTIFS + PREMIERES ORIENTATIONS
RAPPEL

FAISA
01



PROGRAMME POSSIBLE - HYPOTHESE N° 1

4 BATIMENTS DE LOGEMENTS (B-D-C-E) : 56 LOGTS
1 BATIMENTS DE LOGEMENTS + SERVICES : 12 LOGTS
+ 460 M2 SERVICES RDC
6 MAISONS GROUPÉES - RUE SAINT-YVES
1 BATIMENT DE 8 LOGTS (SITE BOULANGERIE)
= 74 LOGTS + 460 M2 DE SERVICES (PROFESSIONS MEDICALES)

FAISA
02



DATE 22/09/16

Éch.: 1/700

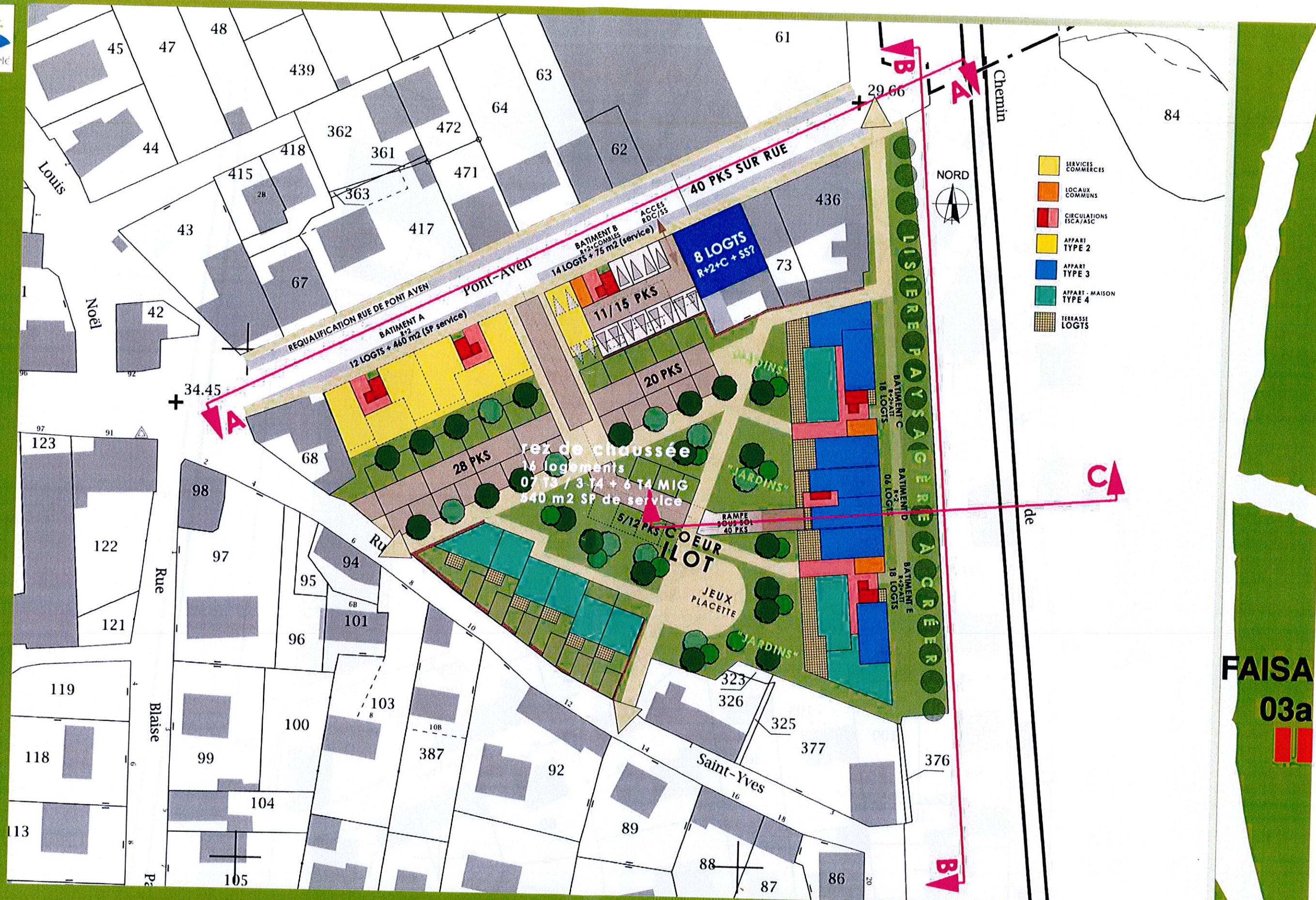
Réf.: FC

ETUDE PREALABLE A LA REALISATION D'OPERATION D'AMENAGEMENT

VILLE DE QUIMPERLÉ (29)

FAISABILITÉ - PLAN DE MASSE - AMENAGEMENTS & FONCTIONNEMENT

ETUDE PRE-OPERATIONNELLE POUR LA RESTRUCTURATION DE L'ÎLOT SAINT-YVES A QUIMPERLÉ (29)



FAISA
03a



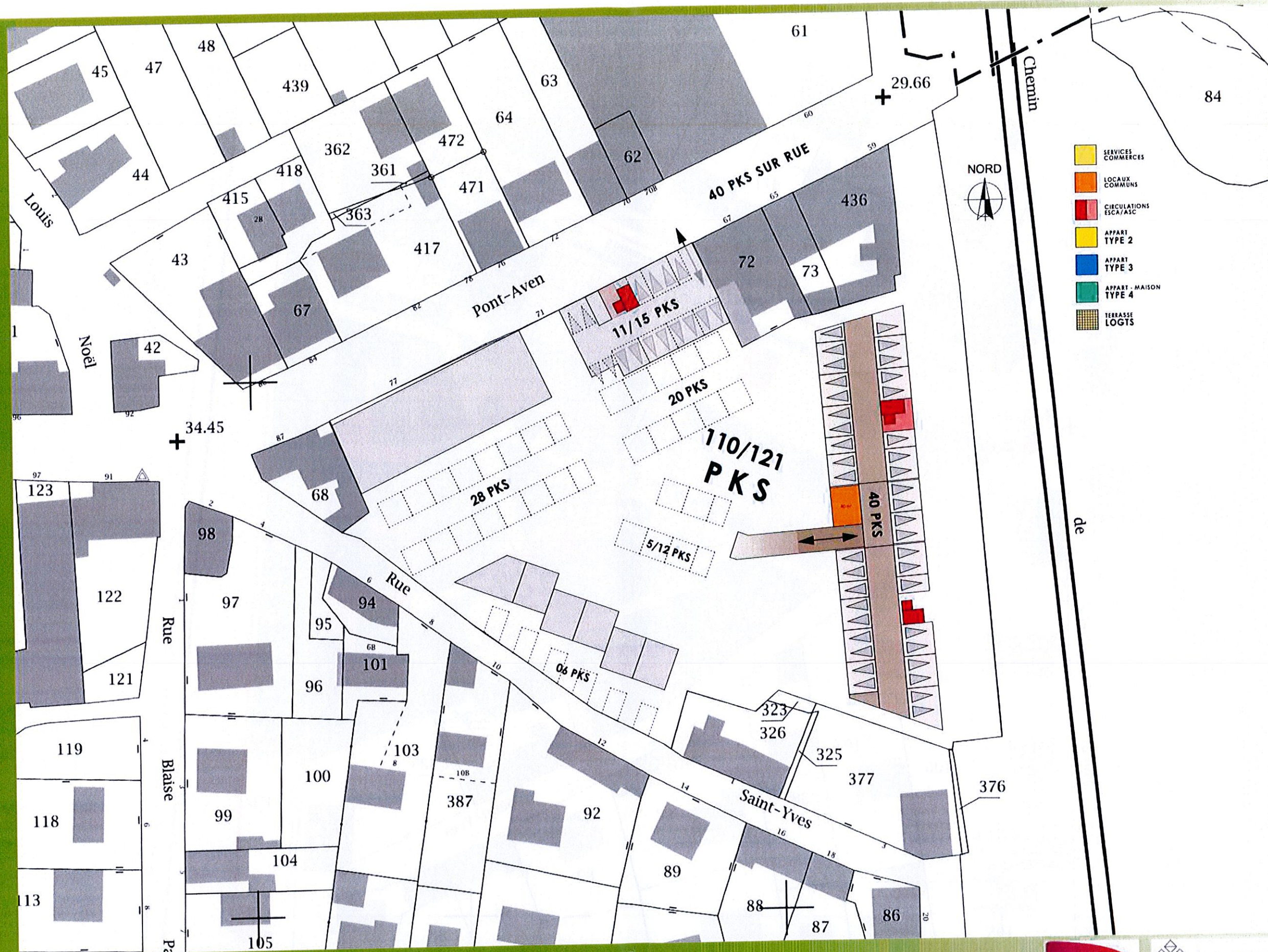
**ÎLOT SAINT-YVES
PROGRAMMATION**



DATE 21/09/16
Éch.: 1/750
Réf.: FO

ETUDE PREALABLE A LA REALISATION D'OPERATION D'AMENAGEMENT
VILLE DE QUIMPERLÉ (29)

FAISABILITÉ - PLAN DE REZ DE CHAUSSEE - PROGRAMME



FAISA
03b



ILLOT SAINT-YVES
PROGRAMMATION



DATE 21/09/16

Éch.: 1/750

Réf.: FC

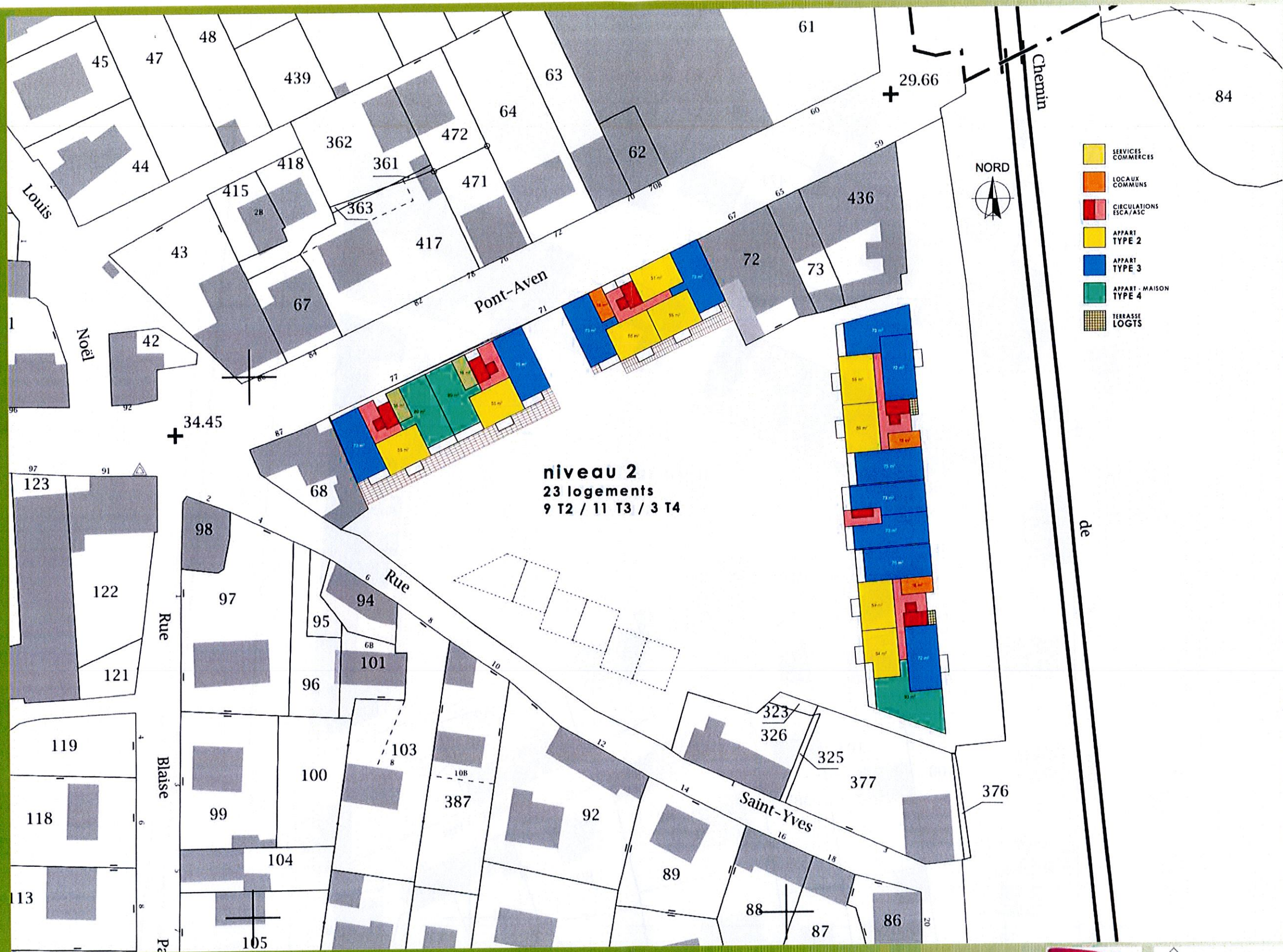
ETUDE PREALABLE A LA REALISATION D'OPERATION D'AMENAGEMENT

VILLE DE QUIMPERLÉ (29)

FAISABILITÉ - PLAN DU SOUS SOL & STATIONNEMENTS - PROGRAMME

Site web: archipole.fr





FAISA
03d



ILLOT SAINT-YVES
PROGRAMMATION

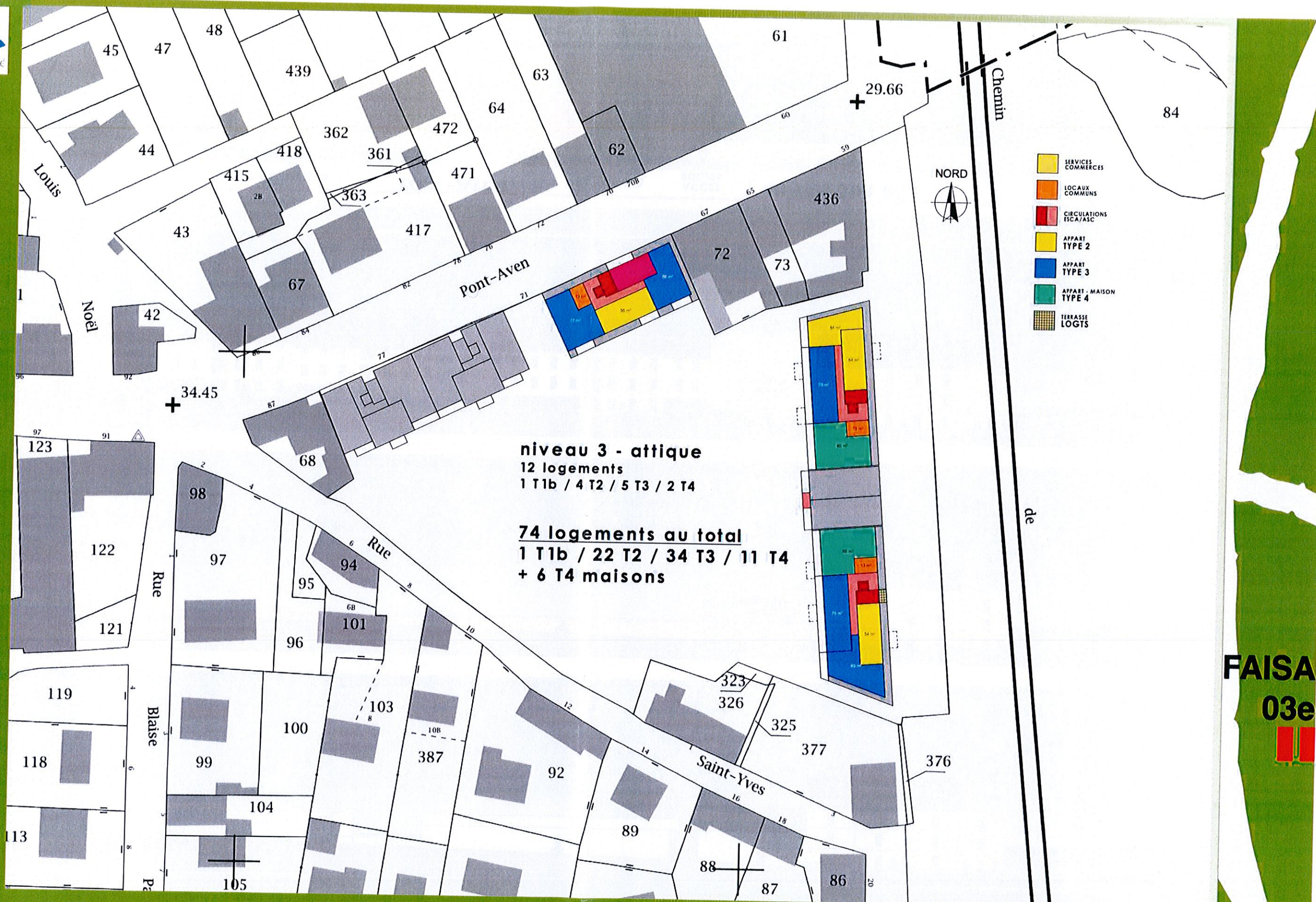


DATE 21/09/16
Éch.: 1/750
Réf.: FC

ETUDE PREALABLE A LA REALISATION D'OPERATION D'AMENAGEMENT
VILLE DE QUIMPERLÉ (29)

FAISABILITÉ - PLAN DU NIVEAU 2 - PROGRAMME

Site web: archipole.fr



ILLOT SAINT-YVES
PROGRAMMATION



DATE 21/09/18

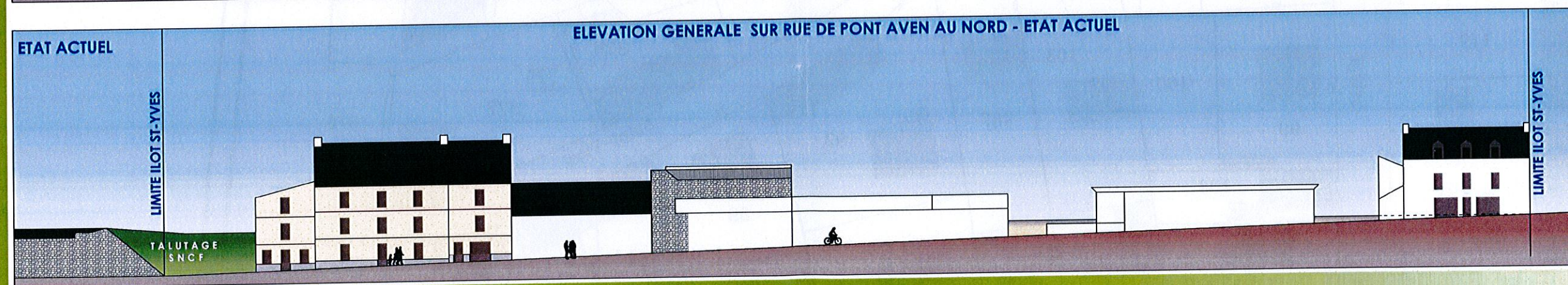
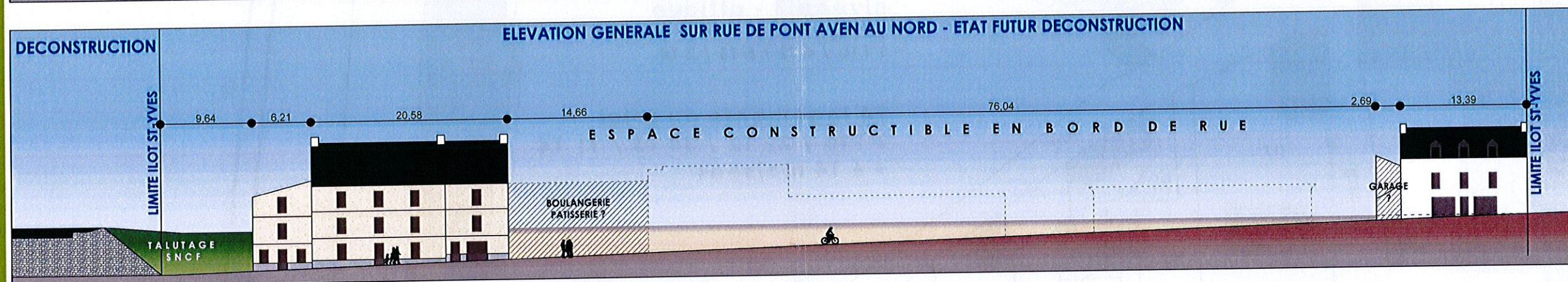
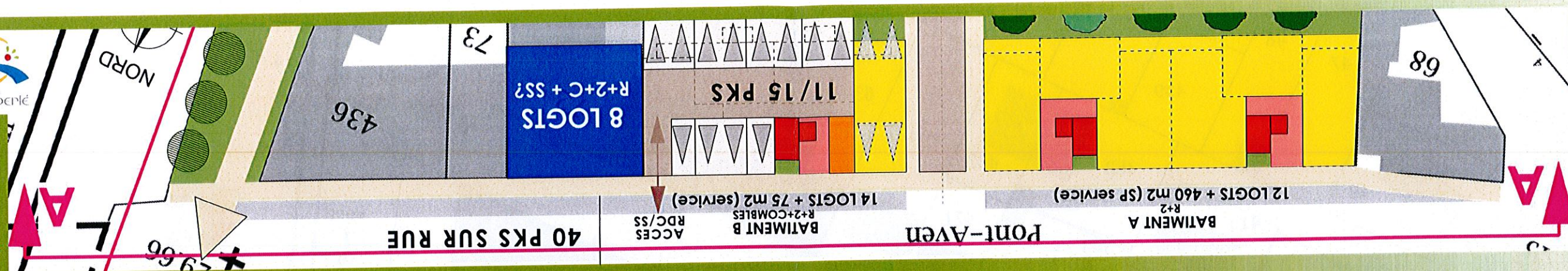
Éch.: 1/750

Réf.: FC

ETUDE PREALABLE A LA REALISATION D'OPERATION D'AMENAGEMENT

VILLE DE QUIMPERLÉ (29)

FAISABILITÉ - PLAN DU NIVEAU 3 ATTIQUE - PROGRAMME



**ILOT SAINT-YVES DEPUIS LA RUE DE PONT-AVEN
PRINCIPE D'EPANNELAGE CÔTÉ NORD**



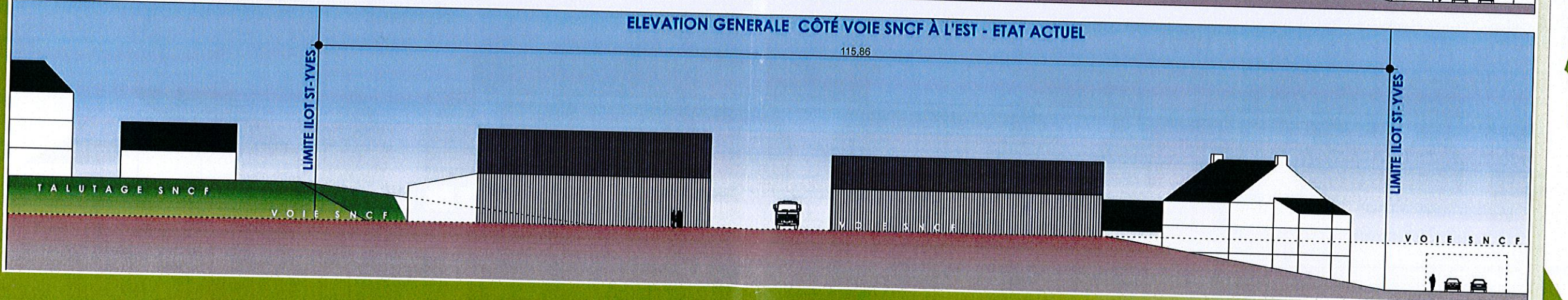
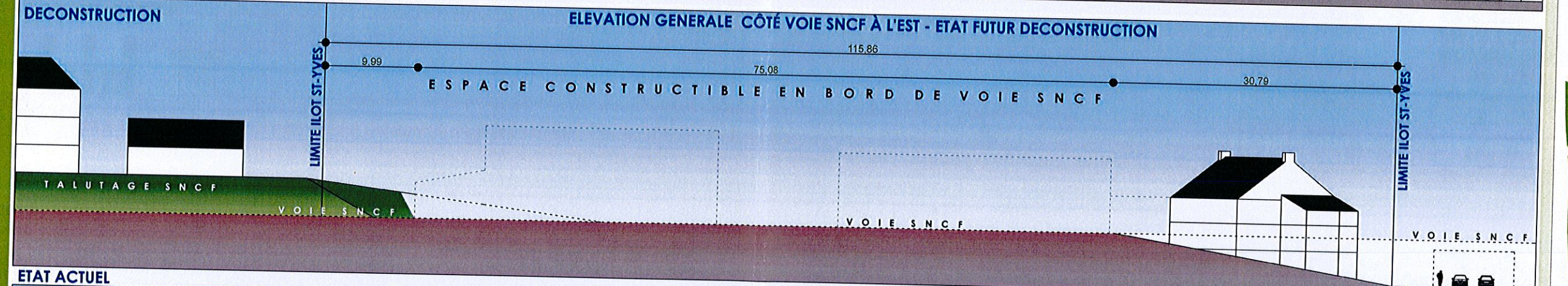
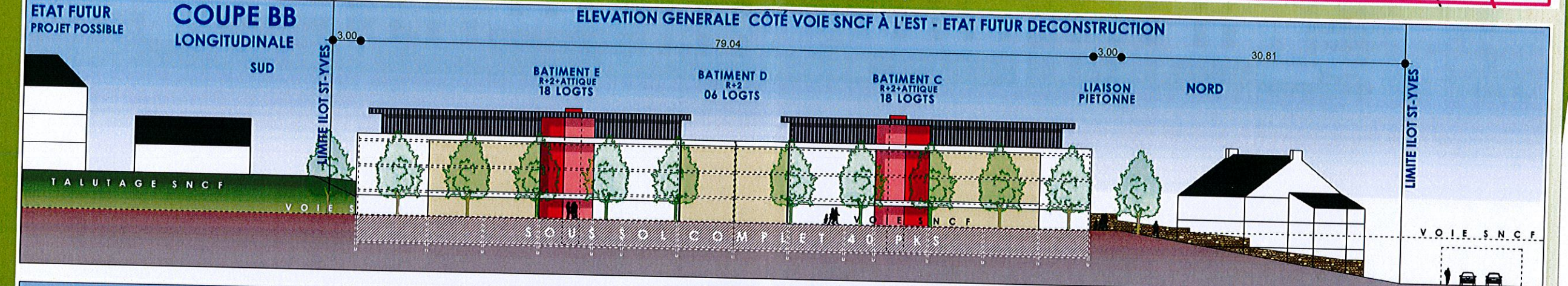
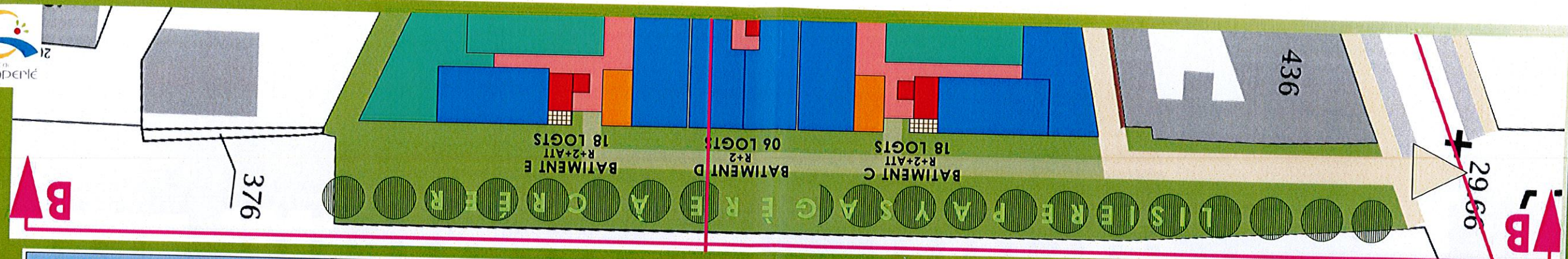
DATE 22/09/16
Éch.: 1/475
Réf.: FC

ETUDE PREALABLE A LA REALISATION D'OPERATION D'AMENAGEMENT
VILLE DE QUIMPERLÉ (29)

**FAISABILITÉ - CADRE BATI & ELEVATION GENERALE
(COUPE AA - RUE DE PONT-AVEN)**

**FAISA
04a**

Site web: archipole.fr



DIAG
04b



ILOT SAINT-YVES DEPUIS LA VOIE SNCF
PRINCIPE D'EPANNELAGE CÔTÉ EST



DATE	22/09/16
Éch.:	1/475
Réf.:	FC
ETUDE PREALABLE A LA REALISATION D'OPERATION D'AMENAGEMENT	
VILLE DE QUIMPERLÉ (29)	

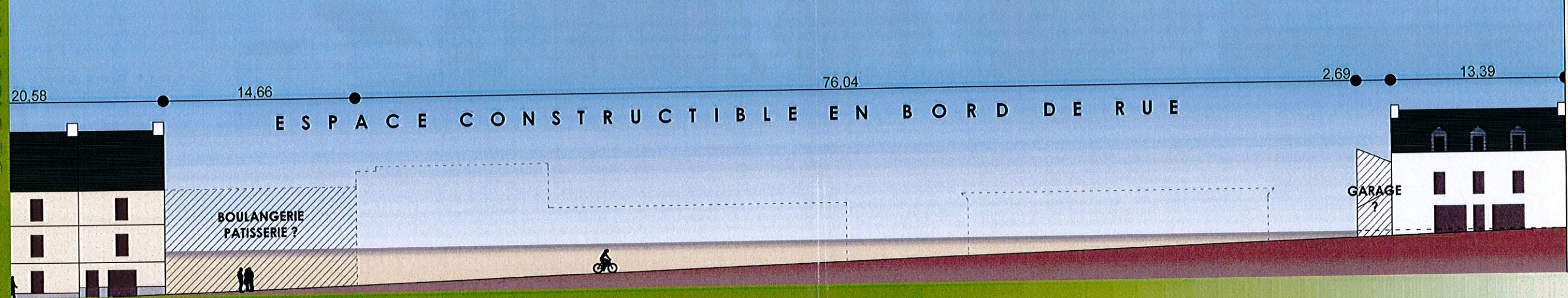
FAISABILITÉ - CADRE BATI & ELEVATION GENERALE
(COUPE BB - DEPUIS LA VOIE SNCF)



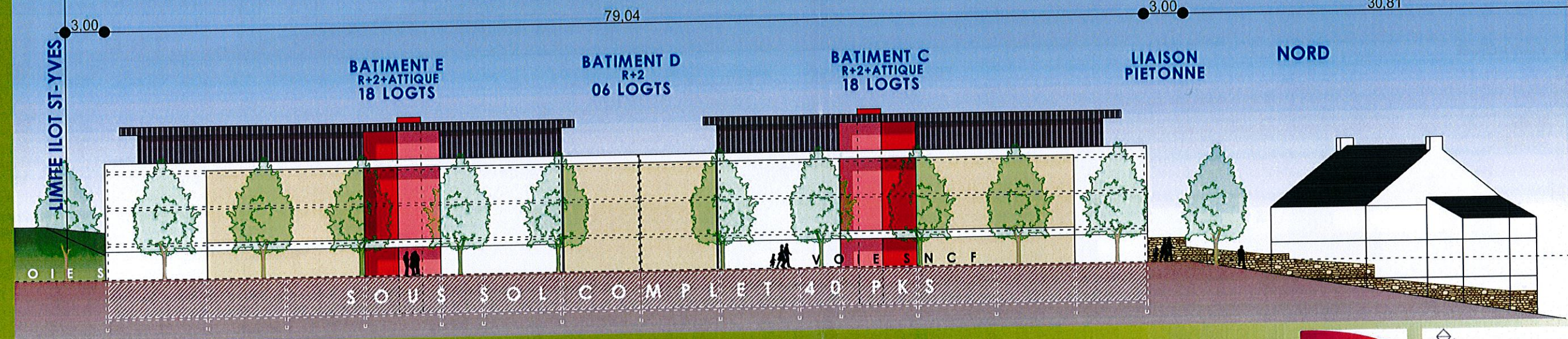
ELEVATION GENERALE SUR RUE DE PONT AVEN AU NORD - ETAT FUTUR DES CONSTRUCTIONS



ELEVATION GENERALE SUR RUE DE PONT AVEN AU NORD - ETAT FUTUR DECONSTRUCTION



ELEVATION GENERALE CÔTÉ VOIE SNCF À L'EST - ETAT FUTUR DECONSTRUCTION

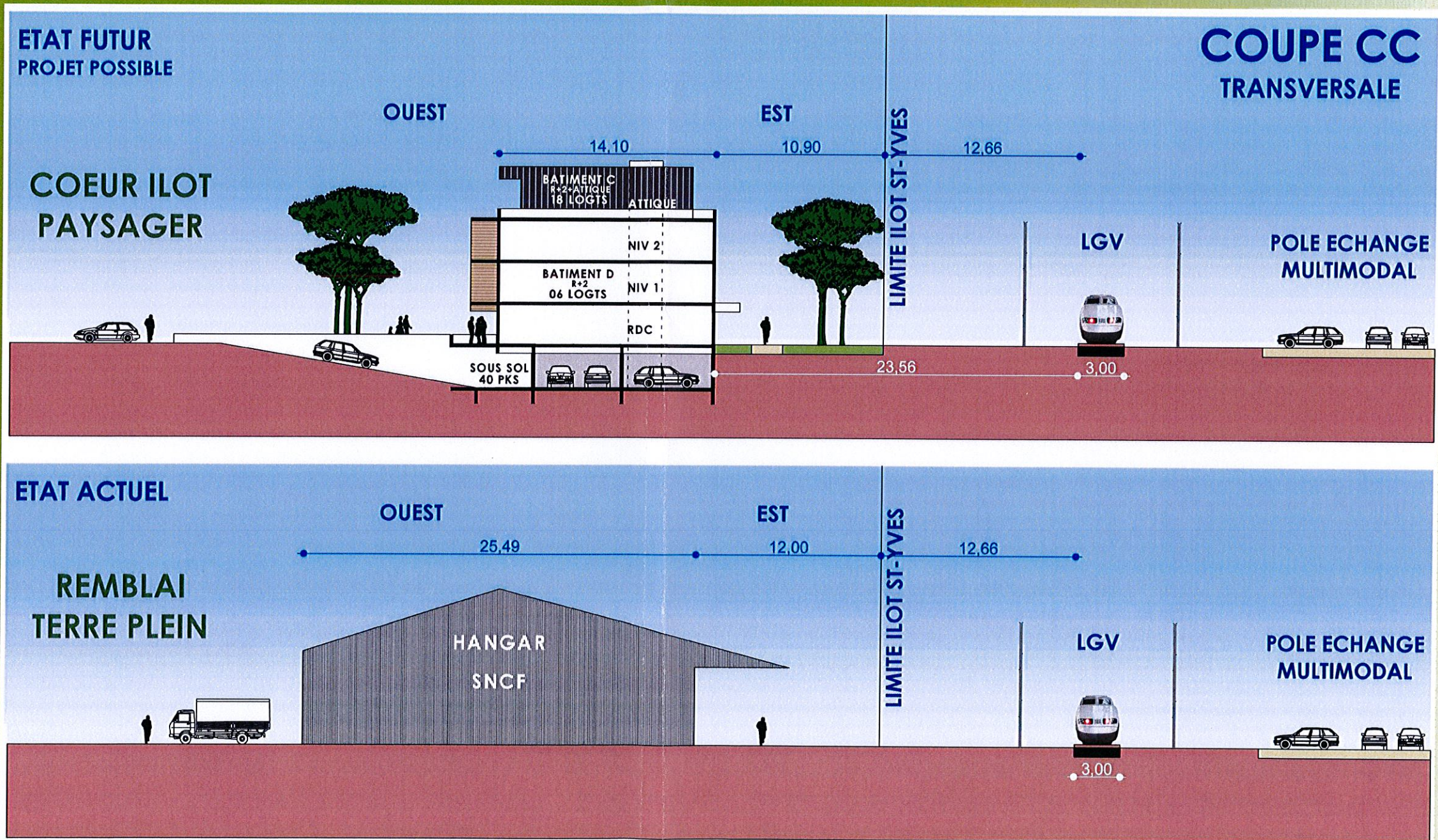
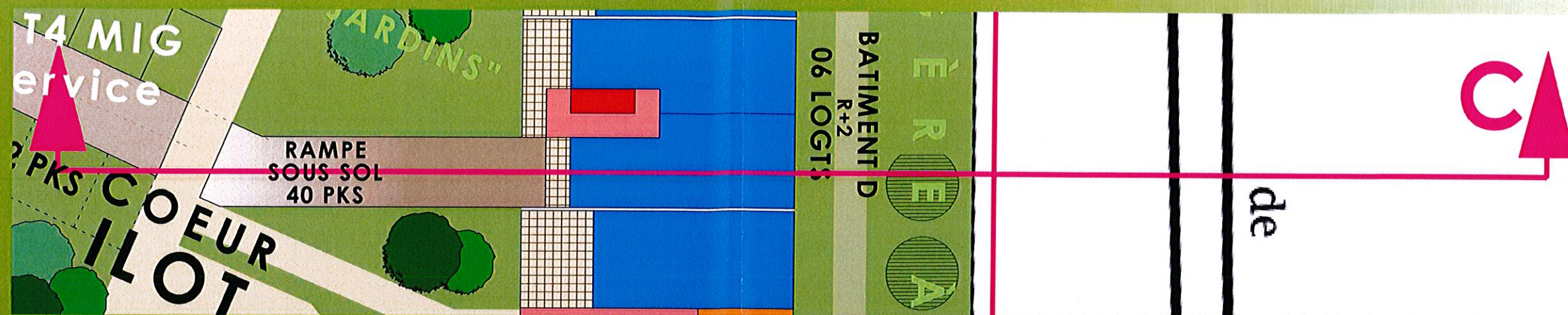


FAISA
04c



ILLOT SAINT-YVES DEPUIS LA RUE DE PONT-AVEN & VOIE SNCF
PRINCIPE D'EPANNELAGE CÔTÉ NORD & EST





DIAG
04d



ILOT SAINT-YVES DEPUIS LE CENTRE DU TERRAIN
PRINCIPE D'EPANNELAGE EN COEUR D'ILOT



DATE 22/09/16

Éch.:

Réf.: FC

ETUDE PREALABLE A LA REALISATION D'OPERATION D'AMENAGEMENT

VILLE DE QUIMPERLE (29)

FAISABILITÉ - CADRE BATI & ELEVATION GENERALE
(COUPE CC - DEPUIS LE COEUR D'ILOT)

Annexe 2.

Données disponibles sur la qualité environnementale des milieux

Source : Diagnostic complémentaire de pollution, datés du 15/09/2023 et référencé 1025065-01 (GINGER BURGEAP).

Cette annexe contient 8 pages.

5.3 Stratégie et modes opératoires d'échantillonnage

La stratégie des investigations est établie conjointement entre BURGEAP (AMO pour l'EPF BRETAGNE) et le prestataire en charge des investigations (SOCOTEC).

En respect du cahier des charges de l'accord-cadre EPF BRETAGNE « *Investigations de diagnostic de pollution - A200/A210/A260* » (daté du 23/11/2017), le bureau d'études SOCOTEC s'est engagé à respecter les dispositions et modes opératoires détaillés en **Annexe 4**.

5.4 Résultats et interprétation des investigations complémentaires

Rappelons que le compte-rendu des investigations complémentaires menées en mai-juin 2023 (SOCOTEC), est inséré en **Annexe 3**.

5.4.1 Lithologie rencontrée et constats d'impact dans les sols

Les terrains rencontrés en mai 2023, ainsi que les constats d'impact lors des investigations du prestataire SOCOTEC, sont décrits dans le tableau suivant.

Tableau 6 : Description lithologique et constats de terrain

	Lithologie et venues d'eau /// Constats de terrain
Description lithologique	<p>Sous le dallage bétonné de l'ancien atelier mécanique (épaisseurs relevées de 0,1 à 0,2 m) :</p> <ul style="list-style-type: none"> sur 0,8 m d'épaisseur (localement, jusqu'à 1,5 m de profondeur (sondage S14)) : un remblai limoneux à limono sableux et graveleux, de couleur grise ; en-deçà, et jusqu'à 5 m de profondeur minimum (arrêt de sondage/forage) : des limons plus ou moins sableux, de couleur grise (parfois brune). Notons la présence de sables gris (sable encaissant des cuves enterrées ?) à partir de 3 m de prof. sur les sondages S2, S4, S5 et S6. <p>L'interprétation des résultats d'analyses granulométriques (HPC, février 2018 et SOCOTEC, juin 2023) mettent en évidence <u>une texture limoneuse fine (parfois limono sableuse)</u> du remblai superficiel (sondages A1, C3 et C7) et des sols sous-jacents (entre 1 et 2 m de prof. sur A1 et C7).</p>
Venues d'eau	<ul style="list-style-type: none"> en janvier-février 2018 (HPC) : sur la majorité des sondages et avec <u>des niveaux d'eau mesurés entre 0,4 et 1,6 m de profondeur globalement</u>. <p>Notons un niveau statique mesuré à 0,6 m de profondeur lors du sondage A1' (profondeur finale de 2 m ; sondage non échantillonné/équipé) et l'absence de venue d'eau lors du forage du sondage/piézair A1 (sondage arrêté à 1,5 m de profondeur et équipé sur 1 m de profondeur) ;</p> <ul style="list-style-type: none"> en mai-juin 2023 (SOCOTEC) : seulement <u>une humidité des sols identifiée à partir de 4 m de profondeur</u>, mais avec des niveaux statiques mesurés entre 1,05 et 1,53 m de profondeur sur les piézomètres en juin 2023 (entre 0,75 et 0,89 m de profondeur en février 2018).
Constats et mesures de terrain	<p>L'intégralité des dernières observations (juin 2023) figure sur les fiches d'échantillonnage du compte-rendu de SOCOTEC et inséré en Annexe 3.</p> <p>A l'issue des investigations de juin 2023, les constats de terrain mettent en évidence au droit du site :</p> <ul style="list-style-type: none"> des odeurs parfois fortes d'hydrocarbures aux abords des cuves enterrées (sondages S1, S3, S4, S6, A1, C7 et forage Pz2), globalement entre 0,5 et 4 m de profondeur minimum. Ces odeurs sont associées à des mesures significatives en COV (entre 10 et 220 ppmV au PID, sur les sondages S1, S11, A1, A2, C7 et forage Pz2). <p>Notons que les investigations menées en mai 2023 permettent de globalement reconnaître les extensions latérales de ces constats avec l'absence d'odeur suspecte dans les sols profonds des sondages C1, C2, C4 à C6, excepté sur le sondage C3, <u>en bordure Ouest du site</u> (odeurs d'hydrocarbures entre 1 et 4 m de profondeur minimum ; 1,6 à 4,6 ppmV au PID) ;</p> <ul style="list-style-type: none"> des odeurs (moyennes) d'hydrocarbures à proximité immédiate des anciens volucompteurs (sondages S7 et S8), entre 0,5 et 3 m de profondeur (0 ppmV au PID) ; des odeurs d'hydrocarbures au droit d'anciens fûts et établis (sondage C5), entre 0,1 et 3 m de profondeur (entre 1,5 et 8,4 ppmV au PID) ; des odeurs (moyennes) d'hydrocarbures au droit de l'aire de lavage (sondage S12), entre 1 et 3 m de profondeur (0 ppmV au PID).

La synthèse cartographique des constats suspects et des mesures de terrain, est présentée sur la figure en page suivante.

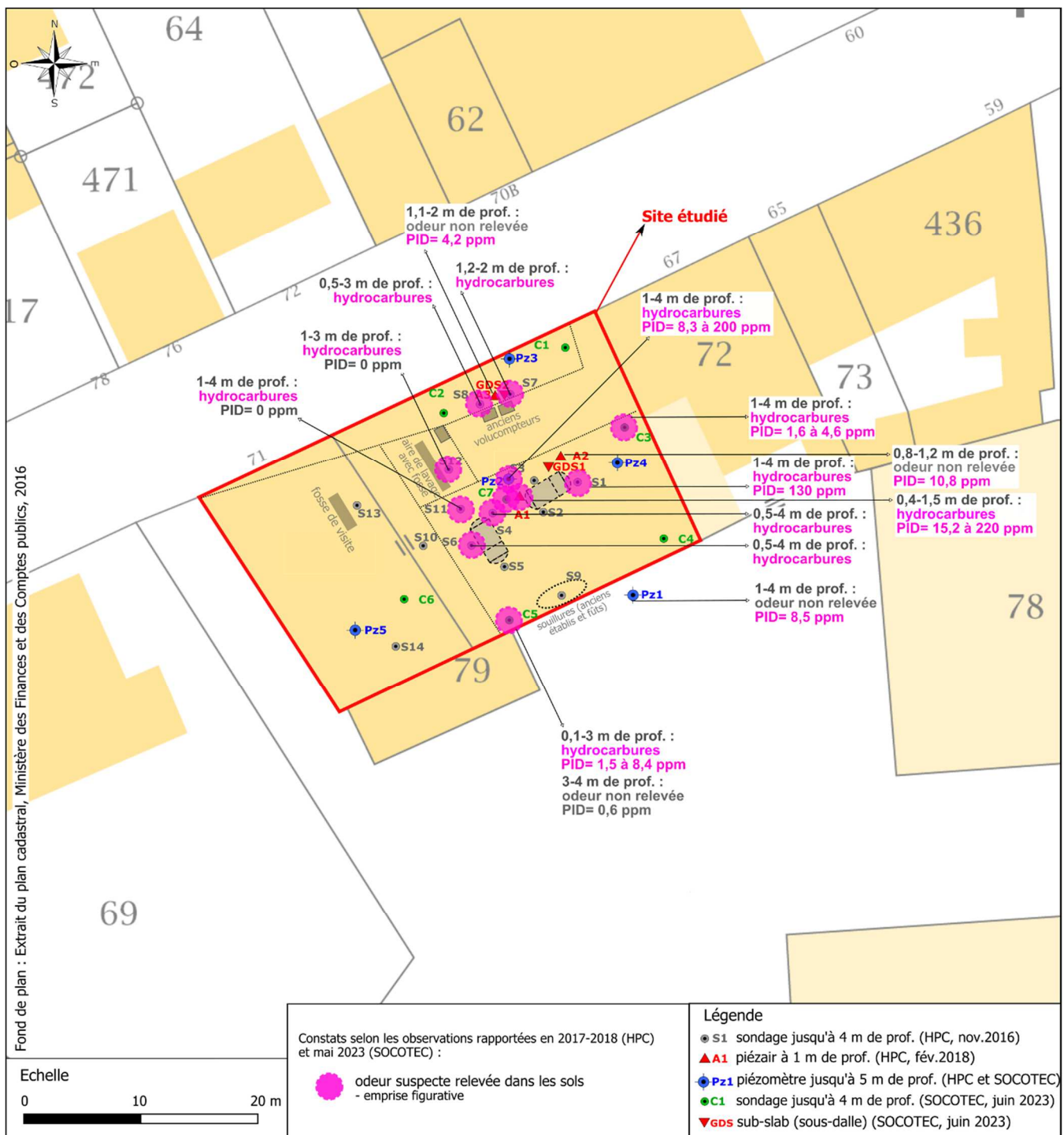


Figure 6 : Synthèse des constats d'impact relevés dans les sols

Tableau 5 : Résultats d'analyses sur brut dans les sols (janvier-février 2018)

				Parcelle n°491 – Ancien atelier mécanique associé à une station de distribution de carburants								Parcelle n°80 – Ancien négoce de matériaux du BTP (projet d'immeubles sur sous-sol)						Parcelles n°69 et 80 - Ancien négoce de matériaux du BTP (projet de maisons individuelles groupées)																					
		Localisation		Ancien atelier mécanique et cuves enterrées de carburants						Anciens volucompteurs						P1		P2		P3		P4		P5		P6		P7		P8		P9		P10					
Bruit de fond (a)	Critères d'acceptation en ISD-Inertes (arrêté du 12/12/2014)	Sondage		A1			A2		Pz2		A3			(0,8-1,2)		(0,3-1,3)		(0,1-0,5)		(0,5-1,5)		(0,1-0,3)		(0,3-1,3)		(0,1-0,9)		(0,1-0,3)		(0,1-0,5)		(0,1-0,6)		(0,1-0,3)		(0,3-0,9)		(0,1-0,7)	
		Profondeur (m)		(0,1-0,4)	(0,4-1,0)	(1,0-1,5)	(0,3-0,8)	(0,8-1,2)	(0,1-1)	(0,5-1,1)	(1,1-2,0)	S + Granites altérés		SG + Granites altérés		SG		SG		LSG		S + Granites altérés		SG + Granites altérés		LSG		SL		S + Granites altérés		LS		LS + Schistes		LS			
		Lithologie		SL	SLG	LA	SL	AS	AL	AG	A																												
		Indices organoleptiques		-	Gris / Blanc	Gris / odeur forte HC	-	Gris	Gris	-			-				Gris		-						Mâchefer / Briques Gris / noir		-		Gris										
Mesure au PID		1,6	15,2	220	5,2	10,8	5	0,2	4,2	0		1,2		2,7		0		0,8		0		0,8		0,3		0,3		0,3		1,3		0,8		0,7					
ANALYSES SUR SOL BRUT																																							
Matière sèche	%	-	-		89,6	77,7	79,9	77,5	77,6	78,1	71,3	73,7	84,8	-	84,2	-	91,1	93	-	-	-	-	83,3	85	-														
Métaux et métalloïdes																																							
Arsenic (As)	mg/kg MS	25	-		-	6,15	6,97	-	-	-	-	4,8	9,48	8,01	12,5	7,48	8,1	-	11,2	10,3	12,6	4,43	8,52	5,27	7,99														
Cadmium (Cd)	mg/kg MS	0,45	-		-	0,69	0,44	-	-	-	-	< 0,40	< 0,40	< 0,40	< 0,40	< 0,40	< 0,40	-	< 0,40	< 0,40	< 0,40	< 0,40	< 0,40	< 0,40	< 0,40														
Chrome (Cr)	mg/kg MS	90	-		-	19,3	18	-	-	-	-	13,7	12,5	19	26,2	31,2	11,4	-	14,3	17,2	25,8	< 5,00	17,3	29,4	23,9														
Cuivre (Cu)	mg/kg MS	20	-		-	16	18,1	-	-	-	-	16,7	16,3	10,1	25,9	18,9	18,7	-	29,2	24,3	23,7	13,9	42,7	48,1	42,3														
Mercurure (Hg)	mg/kg MS	0,1	-		-	< 0,10	0,11	-	-	-	-	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	-	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	0,16														
Nickel (Ni)	mg/kg MS	60	-		-	21,5	12,6	-	-	-	-	8,68	9,54	19,1	29	19,8	17,2	-	14,4	20,2	21	5,18	15	23,3	13														
Plomb (Pb)	mg/kg MS	50	-		-	23,9	32,3	-	-	-	-	21,6	40,1	17,4	24,7	24,9	18,1	-	13,9	15	9,88	24,5	52,1	8,18	52,9														
Zinc (Zn)	mg/kg MS	100	-		-	89,9	101	-	-	-	-	72,9	48,6	87,7	92,2	95,5	108	-	66,3	65,9	148	46,9	84,4	66,5	78,9														
Hydrocarbures volatils C5-C10																																							
Fraction C5-C8	mg/kg MS	LQ	-		< 1,00	-	-	-	8	7,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-													
Fraction C8-C10	mg/kg MS	LQ	-		< 1,00	-	-	-	3	3,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-													
Somme des HC C5-C10	mg/kg MS	LQ	-		< 1,00	-	-	-	11	10,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-													
Hydrocarbures C10-C40																																							
HCT (nC10 - nC16) (Calcul)	mg/kg MS	LQ	-		6,2	-	-	1,2	14,3	5,7	1,3	-	< 4,00	-	13	-	17,9	2,01	-	-	-	-	0,94	1,6	-														
HCT (>nC16 - nC22) (Calcul)	mg/kg MS	LQ	-		26,0	-	-	56,8	29,7	2,9	5,7	-	< 4,00	-	72,4	-	64,2	7,78	-	-	-	-	4,26	8,0	-														
HCT (>nC22 - nC30) (Calcul)	mg/kg MS	LQ	-		122,9	-	-	436,5	182,9	16,5	13,8	-	< 4,00	-	212	-	217	27,9	-	-	-	-	16,4	22,9	-														
HCT (>nC30 - nC40) (Calcul)	mg/kg MS	LQ	-		158,9	-	-	865,3	310,1	12,7	49,2	-	< 4,00	-	299	-	280	35,5	-	-	-	-	15,9	31,8	-														
Indice hydrocarbures C10-C40	mg/kg MS	LQ	500		314	-	-	1 360	537	37,8	70	-	< 15,0	-	596	-	579	73,2	-	-	-	-	37,5	64,4	-														
Hydrocarbures TPH																																							
Aliphatiques >C5 - C6	mg/kg MS	-	-		-	33,3	126	-	-	-	-	< 2,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-													
Aliphatiques >C6 - C8	mg/kg MS	-	-		-	95,5	500	-	-	-	-	< 2,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-													
Aliphatiques >C8 - C10	mg/kg MS	-	-		-	46,8	137	-	-	-	-	< 2,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-													
Aliphatiques >C10 - C12	mg/kg MS	-	-		-	< 10,0	63	-	-	-	-	< 10,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-													
Aliphatiques >C12 - C16	mg/kg MS	-	-		-	< 10,0	< 10,0	-	-	-	-	< 10,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-													
Aliphatiques >C16 - C21	mg/kg MS	-	-		-	< 10,0	< 10,0	-	-	-	-	< 10,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-													
Aliphatiques >C21 - C35	mg/kg MS	-	-		-	26,6	< 10,0	-	-	-	-	< 10,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-													
Aliphatiques >C35 - C40 (exclus)	mg/kg MS	-	-		-	< 10,0	< 10,0	-	-	-	-	< 10,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-													
Total Aliphatiques	mg/kg MS	-	-		-	202	826	-	-	-	-	< 10,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-													
Aromatiques >C6-C8	mg/kg MS	-	-		-	< 2,24	10,6	-	-	-	-	< 2,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-													
Aromatiques >C8 - C10	mg/kg MS	-	-		-	20,3	110	-	-	-	-	< 2,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-													
Aromatiques >C10 - C12	mg/kg MS	-	-		-	< 10,0	173	-	-	-	-	< 10,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-													
Aromatiques >C12 - C16	mg/kg MS	-	-		-	< 10,0	14	-	-	-	-	< 10,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-													
Aromatiques >C16 - C21	mg/kg MS	-	-		-	< 10,0	< 10,0	-	-	-	-	< 10,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-													
Aromatiques >C21 - C35	mg/kg MS	-	-		-	< 10,0	11,5	-	-	-	-	< 10,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-													
Aromatiques >C35 - C40 (exclus)	mg/kg MS	-	-		-	< 10,0	11,1	-	-	-	-	< 10,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-													
Total Aromatiques	mg/kg MS	-	-		-	< 54,0	330	-	-	-	-	< 10,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-													
Total Aliphatiques + Aromatiques	mg/kg MS	LQ	500		-	202	1 160	-	-	-	-	< 10,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-													
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques																																							
Naphtalène	mg/kg MS	0,15	-		< 0,05	-	-	0,11	0,37	0,12	< 0,05	-	< 0,05	-	0,05	-	0,11	-	-	-	-	-	< 0,05	< 0,05	-														
Somme des HAP	mg/kg MS	25	50		1,30	-	-	5,40	10	1,90	2,80	-	< 0,05	-	3,70	-	0,22	-	-	-	-	-	1,40	< 0,05	-														
Hydrocarbures Aromatiques Monocycliques																																							
Benzène	mg/kg MS	LQ	-		< 0,05	< 0,05	< 0,05	-	< 0,05	< 0,05	-	< 0,05	< 0,05	-	< 0,05	-	< 0,05	< 0,05	-	-	-	-	< 0,05	-	-	-													
Toluène	mg/kg MS	LQ	-		< 0,05	0,83	5,94	-	< 0,05	< 0,05	-	< 0,05	< 0,05	-	< 0,05	-	< 0,05	< 0,05	-	-	-	-	< 0,05	-	-	-													
Ethylbenzène	mg/kg MS	LQ	-		< 0,05	1,79	7,11	-	0,08	0,1	-	< 0,05	< 0,05	-	< 0,05	-	0,45	< 0,05	-	-	-	-	< 0,05	-	-	-													
o-Xylène	mg/kg MS	LQ	-		< 0,05	2,32	13	-	< 0,05	0,08	-	< 0,05	< 0,05	-	< 0,05	-	0,48	< 0,05	-	-	-	-	< 0,05	-	-	-													
m+p-Xylène	mg/kg MS	LQ	-		< 0,05	6,52	28,2	-	0,23	0,3	-	0,1	< 0,05	-	0,1	-	1,89	< 0,05	-	-	-	-	< 0,05	-	-	-													
Somme des BTEX	mg/kg MS	LQ	6		< 0,05	11,5	54,3	-	0,31	0,48	-	0,1	< 0,05	-	0,1	-	2,82	< 0,05	-	-	-	-	< 0,05	-	-	-													
Polychlorobiphényles																																							
Somme des PCB	mg/kg MS	LQ	1		-	-	-	-	-	-	-	< 0,01	-	-	< 0,01	-	< 0,01	-	-	-	-	-	< 0,01	-	-	-													
Carbone Organique Total																																							
COT (b)	mg/kg MS	-	30 000		-	-	-	-	-	-	-	-	3 190	-	10 900	-	9 170	-	-	-	-	-	19 200	-	-	-													

Tableau 6 : Résultats d'analyses sur éluat dans les sols (janvier-février 2018)

			Localisation	Parcelle n°80 – Ancien négoce de matériaux du BTP (projet d'immeubles sur sous-sol)					Parcelle n°80 - projet de maisons individuelles groupées
			Sondage	P1	P2	P3	P4	P9	
			Profondeur (m)	(0,8-1,2)	(0,3-1,3)	(0,1-0,5)	(0,5-1,5)	(0,1-0,3)	(0,1-0,3)
			Lithologie	S + Granites altérés	SG + Granites altérés	SG	SG	LSG	LS
			Indices organoleptiques	-			Gris	-	Mâchefer / Briques Gris / noir
			Mesure au PID	0,0	1,2	2,7	0,0	0,8	1,3
ANALYSES SUR ELUAT									
Paramètres généraux									
pH	-	-		7,5	7,9	8,2	7,8	8,1	7,6
Conductivité corrigée	µS/cm	-		56	143	189	91	354	54
Fraction soluble (c)	mg/kg MS	4000		7 000	3 260	< 2 000	7 490	2 460	2 370
Carbone organique total (b)	mg/kg MS	500		63	< 50	140	130	94	260
Indice phénol	mg/kg MS	1		< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,51	< 0,50	< 0,50
Anions									
Fluorures	mg/kg MS	10		< 5,00	< 5,03	< 5,01	< 5,06	< 5,00	< 5,02
Chlorures (c)	mg/kg MS	800		34,8	28,2	23,4	39	19,7	24,2
Sulfates (c)	mg/kg MS	1000		230	186	390	237	1 170	< 50,2
Métaux et métalloïdes									
Antimoine	mg/kg MS	0,06		< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,006	< 0,005	< 0,005
Arsenic	mg/kg MS	0,5		< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Baryum	mg/kg MS	20		0,56	< 0,10	0,12	0,73	0,14	0,29
Cadmium	mg/kg MS	0,04		< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,006	< 0,002	< 0,002
Chrome	mg/kg MS	0,5		< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Cuivre	mg/kg MS	2		< 0,20	< 0,20	< 0,20	0,24	< 0,20	0,3
Mercure	mg/kg MS	0,01		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Molybdène	mg/kg MS	0,5		0,013	0,03	0,366	0,018	0,257	0,07
Nickel	mg/kg MS	0,4		< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Plomb	mg/kg MS	0,5		0,19	< 0,10	< 0,10	0,32	0,15	0,13
Zinc	mg/kg MS	4		0,43	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Selenium	mg/kg MS	0,1		0,032	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01

(b) Pour l'acceptation en ISD-Inertes, une valeur limite plus élevée peut être admise, à condition que la valeur limite de 500 mg/kg de matière sèche soit respectée pour le carbone organique total sur éluat, soit au pH du sol, soit pour un pH situé entre 7,5 et 8,0.

(c) Si le déchet ne respecte pas au moins une des valeurs fixées pour le chlorure, le sulfate ou la fraction soluble, le déchet peut être encore jugé conforme aux critères d'admission en ISD-Inertes s'il respecte soit les valeurs associées au chlorure et au sulfate, soit celle associée à la fraction soluble.

Teneur supérieure aux critères ISD-Inertes

Sur la base des investigations réalisées au droit du site étudié, et des paramètres recherchés lors des diagnostics de pollution de 2016 et janvier-février 2018, les résultats analytiques mettent en évidence dans les sols :

► Au droit de l'ancien atelier mécanique (parcelles AX490 et 491)

- concernant les métaux et métalloïdes sur brut :

Des teneurs supérieures au bruit de fond retenu sont relevées en cuivre, mercure, plomb et zinc (pour 6/7 échantillons sur 17 analysés), et ponctuellement en cadmium (2 échantillons).

Relevons des teneurs particulièrement élevées (uniquement lors des investigations de 2016) :

- en mercure (0,3 mg/kg, soit 3 fois supérieure au bruit de fond) aux abords d'une cuve enterrée (sondage S4 ; entre 0,1 et 1 m de profondeur) ;
- en mercure (0,35 mg/kg, soit 3,5 fois supérieure au bruit de fond) au droit des anciens volucompteurs (sondage S8 ; entre 0,2 et 1,2 m de profondeur) ;
- en cadmium et plomb (respectivement 0,82 et 91,3 mg/kg, soit près de 2 fois supérieure au bruit de fond) au sein du remblai constituant le terre-plein de l'ancien établi (sondage S10 ; entre 0,1 et 0,3 m de profondeur minimum) ;

Tableau 7 : Résultats d'analyses sur les sols (juin 2023) - sur brut

ANALYSES SUR SOL BRUT	Bruit de fond (a)	Critères d'acceptation en ISD-Inertes (arrêté du 12/12/2014)	Echantillon Prof. (m) Indice organoléptique Mesure au PID (ppm V)	C1/1	C1/2	C1/4	C2/1	C2/2	C2/4	C3/1	C3/2	C3/3	C3/4	C4/1	C4/3	C4/4	C5/1	C5/2	C5/3	C5/4	C6/1	C6/2	C6/4	C7/1	C7/2	C7/3	C7/4		
				0-1	1-2	3-4	0.1-1	1-2	3-4	0.1-1	1-2	2-3	3-4	0.1-1	2-3	3-4	0.1-1	1-2	2-3	3-4	0.3-1	1-2	3-4	0.1-1	1-2	2-3	3-4		
				RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	Odeur HCT	Odeur HCT	Odeur HCT	RAS	RAS	RAS	Odeur HCT	Odeur HCT	Odeur HCT	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	Odeur HCT	Odeur HCT	Odeur HCT	Odeur HCT	
				0	0	0	0	0	0	0.3	4.6	2.3	1.6	0.4	0	0	8.4	8	1.5	0.6	0	0.3	0	0	15.1	15.1	27.2	14.3	
Matière sèche	%	-	-		90.7	66.4	86.4	85.3	75.4	82.9	83.9	75.5	70.2	71.5	81.6	70.5	74.8	76.2	77.5	75.4	70.5	71.6	83	79.7	75.8	74.7	72.8	67.3	
Carbone Organique Total																													
COT (b)	mg/kg MS	-	30 000		-	-	-	13300	-	-	-	-	-	11200	-	-	-	-	-	-	-	29300	-	-	-	-	-		
Métaux et métalloïdes																													
Arsenic (As)	mg/kg MS	25	-		15.7	-	-	13	4.11	-	9.65	6.55	-	5.72	-	-	10.8	4.73	-	-	8.43	-	-	5.32	5.71	4.84	3.35		
Cadmium (Cd)	mg/kg MS	0.45	-		0.5	-	-	0.52	<0.40	-	0.49	<0.40	-	<0.40	-	-	<0.40	<0.40	-	-	1.28	-	-	0.68	<0.40	<0.40	<0.40		
Chrome (Cr)	mg/kg MS	90	-		16.5	-	-	14	11.5	-	13.5	13.5	-	15.8	-	-	15.2	10.2	-	-	23	-	-	12.8	13	13.1	10.1		
Cuivre (Cu)	mg/kg MS	20	-		30.8	-	-	33.7	15.5	-	28.7	20.2	-	29.8	-	-	29.3	15.2	-	-	80.6	-	-	17.4	20.4	15.1	7.6		
Mercuré (Hg)	mg/kg MS	0.10	-		0.25	-	-	0.44	0.11	-	0.21	0.18	-	0.17	-	-	0.22	<0.10	-	-	0.18	-	-	0.11	0.23	0.14	<0.10		
Nickel (Ni)	mg/kg MS	60	-		11	-	-	10.7	8.6	-	10.8	9.81	-	9.9	-	-	15.5	7.48	-	-	15.6	-	-	9.21	9.31	9.21	6.76		
Plomb (Pb)	mg/kg MS	50	-		47.9	-	-	613	25.3	-	62.7	43.6	-	47.9	-	-	61.5	21.4	-	-	226	-	-	39.7	42	25.7	14.6		
Zinc (Zn)	mg/kg MS	100	-		166	-	-	184	68.2	-	194	105	-	158	-	-	158	80.6	-	-	198	-	-	105	118	78.3	45.3		
Hydrocarbures volatils																													
C5-C6 Aliphatiques	mg/kg MS	-	-		-	<1.3	-	-	<1.00	<1.00	<1.00	-	2.6	3.9	<1.00	<1.1	<1.0	1.9	3.2	2.4	-	<1.0	-	-	-	-	33.1		
>C6-C8 Aliphatiques	mg/kg MS	-	-		-	6.5	-	-	<1.00	<1.00	<1.00	-	3.5	10.6	<1.00	<1.1	<1.0	2.7	8.7	4.8	-	<1.0	-	-	-	-	59.1		
>C8-C10 Aliphatiques	mg/kg MS	-	-		-	1.7	-	-	<1.00	<1.00	<1.00	-	<1.2	10.4	<1.00	<1.1	<1.0	3.6	7.5	3.4	-	<1.0	-	-	-	-	25		
C6-C9 Aromatiques	mg/kg MS	-	-		-	3.7	-	-	<1.00	<1.00	<1.00	-	5.2	10.4	<1.00	<1.1	<1.0	<1.0	1.9	<1.0	-	<1.0	-	-	-	-	25.9		
>C9-C10 Aromatiques	mg/kg MS	-	-		-	6.7	-	-	<1.00	<1.00	<1.00	-	4.6	15.5	<1.00	<1.1	<1.0	1.6	5.2	2.4	-	<1.0	-	-	-	-	40.2		
CS-C10 Total	mg/kg MS	LQ	LQ		-	18.6	-	-	<1.00	<1.00	<1.00	-	15.9	50.8	<1.00	<1.1	<1.00	9.8	26.5	13	-	<1.00	-	-	-	-	183.3		
Hydrocarbures totaux																													
Fraction C10-C12	mg/kg MS	-	-		-	4.71	0.31	1.55	0.29	0.38	0.22	-	2.05	0.08	0.08	7.72	0.2	7.76	6.61	1.09	8.1	2.44	7.9	0.36	-	-	44.64	-	7.81
Fraction C12-C16	mg/kg MS	-	-		-	52	0.86	7.54	0.66	0.56	0.17	-	47.99	29.91	9.92	104.9	70.94	77.25	23.41	47.79	37.44	71.57	4.62	-	-	13.54	-	53.65	
Fraction C16-C20	mg/kg MS	-	-		-	1.89	0.46	28.66	0.42	0.47	0.1	-	1.37	6.17	23.82	3.7	1.08	7.11	5.75	0.26	103.4	65.45	4.02	-	-	20.68	-	4.31	
Fraction C20-C24	mg/kg MS	-	-		-	1.47	0.24	33.17	1.58	1.43	2.58	-	1.74	3.97	180.7	7.97	4.49	27.09	18.03	1.24	13.27	161.6	130.3	13.54	-	-	80.75	-	24.24
Fraction C24-C28	mg/kg MS	-	-		-	8.09	3.41	10.95	4.69	3.58	13.14	-	16.48	9.12	81.54	21.64	3	52.26	36.17	15.86	35.3	206.3	239	14.88	-	-	271.4	-	70.87
Fraction C28-C32	mg/kg MS	-	-		-	21.16	5.07	25.83	7.66	5.02	18.94	-	36.09	21.25	252.3	39.24	21.23	92.74	44.75	37.06	69.6	1814	356.6	98.79	-	-	359.4	-	89.29
Fraction C32-C36	mg/kg MS	-	-		-	20.05	6.1	28.19	8.66	5.52	25.11	-	45.72	24.2	150.8	53.98	12.08	157.3	47.47	31.39	88.57	1675	516.5	46.31	-	-	11.49	-	58.37
Fraction C36-C40	mg/kg MS	-	-		-	4.88	5.44	1.29	4.19	0.02	0.36	-	9.75	0.7	148.5	9.01	4.46	14.7	3.61	5.62	7.82	70	103.8	41.95	-	-	18.88	-	33.86
Indice HC C10-C40	mg/kg MS	LQ	500		-	114	21.9	137	28.2	17	60.6	-	161	95.4	848	248	117	436	233	116	288	4070	1490	224	-	-	821	-	342
Hydrocarbures par TPH																													
Aliphatiques C5 - C6	mg/kg MS	-	-		-	-	-	-	-	-	-	2.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	82.5	-	
Aliphatiques >C6 - C8	mg/kg MS	-	-		-	-	-	-	-	-	-	6.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	154	-	
Aliphatiques >C8 - C10	mg/kg MS	-	-		-	-	-	-	-	-	-	5.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	76.3	-	
Aliphatiques >C10 - C12	mg/kg MS	-	-		-	-	-	-	-	-	-	<15.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<15.0	-	
Aliphatiques >C12 - C16	mg/kg MS	-	-		-	-	-	-	-	-	-	69.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<15.0	-	
Aliphatiques >C16 - C21	mg/kg MS	-	-		-	-	-	-	-	-	-	19.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16.4	-	
Aliphatiques >C21 - C35	mg/kg MS	-	-		-	-	-	-	-	-	-	20.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	668	-	
Aliphatiques >C35 - C40	mg/kg MS	-	-		-	-	-	-	-	-	-	<15.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28.2	-	
Aromatiques >C6 - C9	mg/kg MS	-	-		-	-	-	-	-	-	-	2.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38.6	-	
Aromatiques >C9 - C10	mg/kg MS	-	-		-	-	-	-	-	-	-	7.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	117	-	
Aromatiques >C10 - C12	mg/kg MS	-	-		-	-	-	-	-	-	-	<15.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<15.0	-	
Aromatiques >C12 - C16	mg/kg MS	-	-		-	-	-	-	-	-	-	<15.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<15.0	-	
Aromatiques >C16 - C21	mg/kg MS	-	-		-	-	-	-	-	-	-	<15.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	-	
Aromatiques >C21 - C35	mg/kg MS	-	-		-	-	-	-	-	-	-	<15.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	87.2	-	
Aromatiques >C35 - C40	mg/kg MS	-	-		-	-	-	-	-	-	-	<15.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<15.0	-	
Somme des TPH	mg/kg MS	LQ	500		-	-	-	-	-	-	-	134	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1290	-	
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)																													
Naphtalène	mg/kg MS	0.125	-		-	0.85	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	1.7	0.22	1.9	<0.05	<0.05	<0.05	0.082	0.86	0.35	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	-	-	1.8	13	4.7
Fluorène	mg/kg MS	-	-		-	<0.05	<0.05	0.069	0.54	<0.05	<0.05	0.061	<0.05	<0.05	<0.05	0.053	<0.05	0.073	0.062	<0.05	0.051	0.067	0.082	<0.05	-	-	0.056	0.066	<0.05
Phénanthrène	mg/kg MS	-	-		-	0.061	<0.05	0.43	3.2	<0.05	0.26	0.13	<0.05	0.12	0.29	0.075	0.11	0.35	0.11	<0.05	0.068	0							

Tableau 8 : Résultats d’analyses sur les sols (juin 2023) - sur éluat

				Bruit de fond (a)	Critères d'acceptation en ISD-Inertes (arrêté du 12/12/2014)	Echantillon	C1/1	C1/2	C1/4	C2/1	C2/2	C2/4	C3/1	C3/2	C3/3	C3/4	C4/1	C4/3	C4/4	C5/1	C5/2	C5/3	C5/4	C6/1	C6/2	C6/4	C7/1	C7/2	C7/3	C7/4	
		Prof. (m)	0-1			1-2	3-4	0.1-1	1-2	3-4	0.1-1	1-2	2-3	3-4	0.1-1	2-3	3-4	0.1-1	2-3	3-4	0.1-1	1-2	2-3	3-4	0.3-1	1-2	3-4	0.1-1	1-2	2-3	3-4
		Indice organoleptique	RAS			RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	Odeur HCT	Odeur HCT	Odeur HCT	RAS	RAS	RAS	Odeur HCT	Odeur HCT	Odeur HCT	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	Odeur HCT	Odeur HCT	Odeur HCT
		Mesure au PID (ppmV)	0			0	0	0	0	0	0.3	4.6	2.3	1.6	0.4	0	0	8.4	8	1.5	0.6	0	0.3	0	0	15.1	27.2	14.3			
ANALYSES SUR ELUAT																															
Paramètres généraux																															
pH	-	-	-		-	-	-	8.1	-	-	-	-	-	-	-	8.8	-	-	-	-	-	-	-	7.7	-	-	-	-	-	-	
Conductivité corrigée à 25 °C	µS/cm	-	-		-	-	130	-	-	-	-	-	-	-	-	816	-	-	-	-	-	-	-	83	-	-	-	-	-	-	
Fraction soluble (c)	mg/kg MS	-	4000		-	-	<2000	-	-	-	-	-	-	-	-	6820	-	-	-	-	-	-	-	<2000	-	-	-	-	-	-	
COT	mg/kg MS	-	500		-	-	59	-	-	-	-	-	-	-	-	160	-	-	-	-	-	-	-	150	-	-	-	-	-	-	
Indice phénol	mg/kg MS	-	1		-	-	<0.51	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.50	-	-	-	-	-	-	-	<0.50	-	-	-	-	-	-	
Anions																															
Fluorures	mg/kg MS	-	10		-	-	<5.00	-	-	-	-	-	-	-	-	<5.00	-	-	-	-	-	-	-	<5.00	-	-	-	-	-	-	
Chlorures (c)	mg/kg MS	-	800		-	-	25	-	-	-	-	-	-	-	-	65.6	-	-	-	-	-	-	-	<20.0	-	-	-	-	-	-	
Sulfates (c)	mg/kg MS	-	1000		-	-	175	-	-	-	-	-	-	-	-	4230	-	-	-	-	-	-	-	60.3	-	-	-	-	-	-	
Métaux et métalloïdes																															
Antimoine	mg/kg MS	-	0.06		-	-	0.035	-	-	-	-	-	-	-	-	0.013	-	-	-	-	-	-	-	0.022	-	-	-	-	-	-	
Arsenic	mg/kg MS	-	0.5		-	-	<0.102	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.101	-	-	-	-	-	-	-	<0.101	-	-	-	-	-	-	
Baryum	mg/kg MS	-	20		-	-	<0.102	-	-	-	-	-	-	-	-	0.188	-	-	-	-	-	-	-	<0.101	-	-	-	-	-	-	
Cadmium	mg/kg MS	-	0.04		-	-	<0.002	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.002	-	-	-	-	-	-	-	<0.002	-	-	-	-	-	-	
Chrome	mg/kg MS	-	0.5		-	-	<0.10	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.10	-	-	-	-	-	-	-	<0.10	-	-	-	-	-	-	
Cuivre	mg/kg MS	-	2		-	-	<0.102	-	-	-	-	-	-	-	-	0.255	-	-	-	-	-	-	-	0.135	-	-	-	-	-	-	
Mercur	mg/kg MS	-	0.01		-	-	<0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.001	-	-	-	-	-	-	-	<0.001	-	-	-	-	-	-	
Molybdène	mg/kg MS	-	0.5		-	-	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	0.062	-	-	-	-	-	-	-	0.023	-	-	-	-	-	-	
Nickel	mg/kg MS	-	0.4		-	-	<0.102	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.101	-	-	-	-	-	-	-	<0.101	-	-	-	-	-	-	
Plomb	mg/kg MS	-	0.5		-	-	<0.102	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.101	-	-	-	-	-	-	-	<0.101	-	-	-	-	-	-	
Selenium	mg/kg MS	-	0.1		-	-	<0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.01	-	-	-	-	-	-	-	<0.01	-	-	-	-	-	-	
Zinc	mg/kg MS	-	4		-	-	<0.102	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.101	-	-	-	-	-	-	-	<0.101	-	-	-	-	-	-	

(a) Valeurs **en gras** : source = Bruit de fond géochimique "sols ordinaires" (INRA-ASPITET, 2008) // *En italique* : source = ATSDR
(b) [Pour l'acceptation en ISDI], une valeur limite plus élevée peut être admise, à condition que la valeur limite de 500 mg/kg de matière sèche soit respectée pour le carbone organique total sur éluat, soit au pH du sol, soit pour un pH situé entre 7,5 et 8,0.
(c) Si le déchet ne respecte pas au moins une des valeurs fixées pour le chlorure, le sulfate ou la fraction soluble, le déchet peut être encore jugé conforme aux critères d'admission [en ISDI] s'il respecte soit les valeurs associées au chlorure et au sulfate, soit celle associée à la fraction soluble.
LQ : Limite de quantification du laboratoire

Concentration supérieure au bruit de fond	
Concentration supérieure aux seuils d'acceptation en ISD-Inertes	

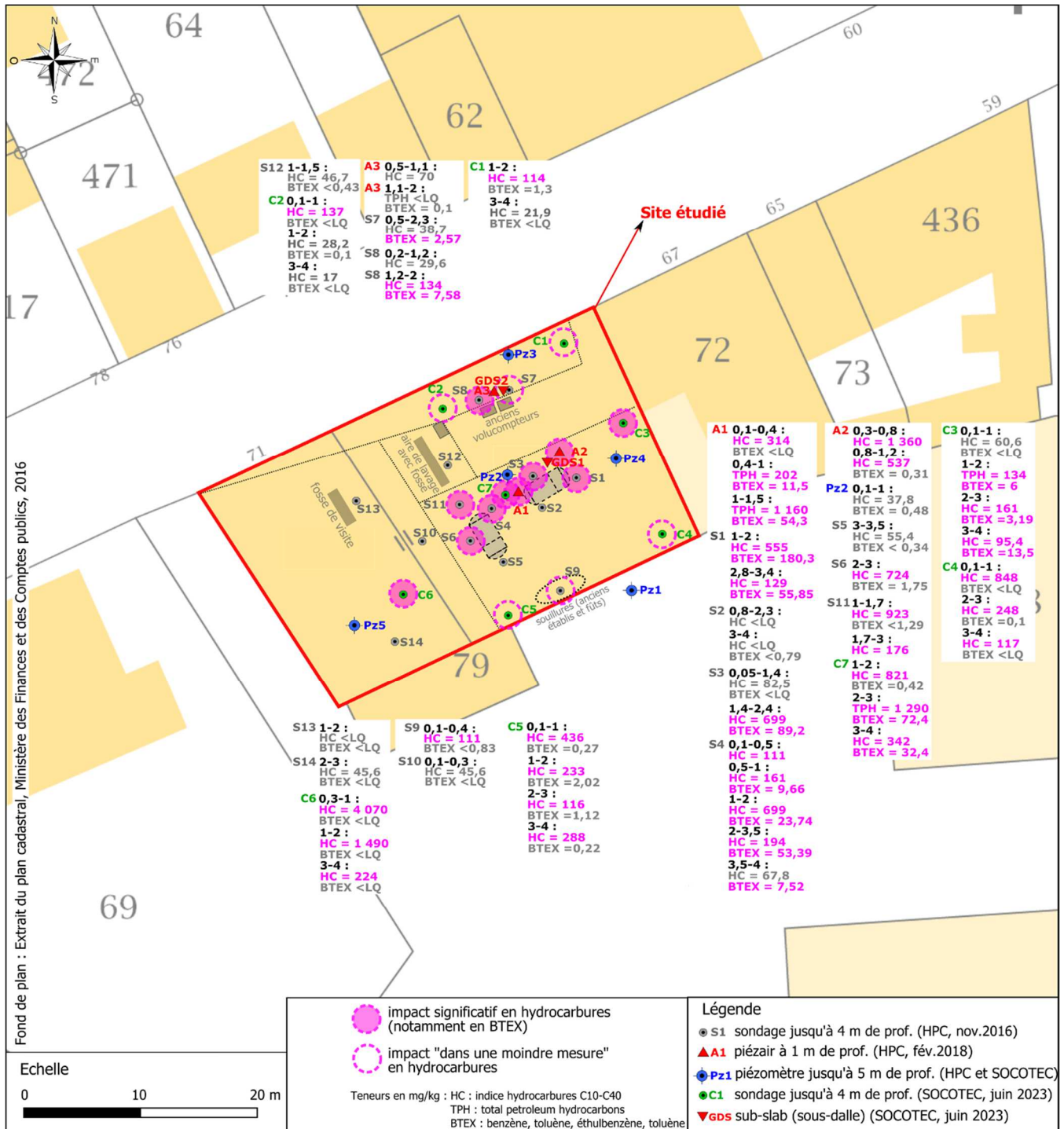


Figure 7 : Synthèse des résultats d'analyses obtenues dans les sols

5.5 Résultats des investigations dans les eaux souterraines

5.5.1 Piézométrie, mesures et constats d'impact dans les eaux souterraines

En complément des 3 piézomètres existants (Pz1 à Pz3), deux piézomètres ont été mis en place par le prestataire SOCOTEC, en mai 2023 :

- Piézomètre Pz4 localisé en aval latéral supposé par rapport aux cuves enterrées ;
- Piézomètre Pz5 localisé en amont latéral supposé par rapport aux cuves enterrées.

Au regard de niveaux statiques relativement proches de la surface (mesurés à moins de 1 m de profondeur en février 2018), et dans l'objectif d'identifier une éventuelle phase organique flottante, l'équipement des piézomètres présente un tube crépiné à partir de 0,5 m de profondeur (tube plein entre 0 et 0,5 m de profondeur).

Ces ouvrages sont localisés sur la figure en page suivante, et ont été nivelés en NGF par SOCOTEC (voir **Annexe 3**).

Le niveau piézométrique a été mesuré dans l'ensemble des ouvrages, le 01/06/2023. Les mesures sont reportées dans le tableau suivant.

Tableau 9 : Mesures piézométriques le 01/06/2023

Ouvrage	Pz1		Pz2		Pz3		Pz4	Pz5
Nature du repère	Bouche à clés		Bouche à clés		Bouche à clés		Haut du capot hors-sol	Haut du capot hors-sol
Hauteur du repère / sol (m)	0		0		0		0.4	0.5
Cote du repère SOCOTEC (m NGF)	34.7		32.1		31.8		32.5	32.5
Date de mesure	01/02/2018	01/06/2023	01/02/2018	01/06/2023	01/02/2018	01/06/2023	01/06/2023	01/06/2023
Profondeur de l'ouvrage / sol (m)	5	5	3.5	3.2	3.5	3.1	5	5
Niveau piézométrique / sol (m)	2.69	3.6	0.75	1.07	0.89	1.05	1.53	1.42
Niveau piézométrique / repère (m)	2.69	3.6	0.75	1.07	0.89	1.05	1.93	1.92
Cote de la nappe (m NGF)	32.01	31.1	31.35	31.03	30.91	30.75	30.57	30.58
Epaisseur de flottant observée (m)	0	0	0	0	0	0	0	0
Constat de terrain (HPC et SOCOTEC)	RAS	RAS (0 ppmV au PID)	Odeur "forte" d'hydrocarbures	Odeur d'hydrocarbures (41 ppmV au PID)	Odeur "légère" d'hydrocarbures	RAS (0 ppmV au PID)	Odeur d'hydrocarbures (2,1 ppmV au PID)	RAS (0 ppmV au PID)

Au regard de ces mesures et de la topographie locale, la nappe souterraine s'écoulerait globalement de l'Ouest vers l'Est, en direction du *ruisseau du Dourdu* localisé à environ 200 m à l'Est (sens d'écoulement similaire à celui obtenu en février 2018). L'esquisse piézométrique est présentée sur la figure en page suivante.

Lors de la campagne de juin 2023, les eaux des piézomètres Pz2 et Pz4 ont présenté des odeurs d'hydrocarbures (également relevées sur Pz2 en février 2018). Néanmoins, aucune phase organique flottante (ou irisations) n'a été relevée par SOCOTEC en juin 2023 (*idem* lors de la campagne de février 2018).

Dans le cadre des investigations complémentaires (SOCOTEC), l'échantillonnage des eaux souterraines a été réalisé le 01/06/2023 (voir détails en **Annexe 3**).

Tableau 8 : Résultats des analyses sur les eaux souterraines (février 2018)

Valeurs de référence dans l'eau					Campagne	Campagne de prélèvement du 01 février 2018		
Eau potable - Arrêté du 11/01/07 (valeur limite)	Eau potable - OMS, 2011 en italique : provisoire	Critères d'évaluation - Arrêté du 17/12/08	Eaux brutes pour production d'eau potable - Arrêté du 11/01/07		Piezomètre	Pz1	Pz2	Pz3
					Localisation	Nord parcelle AX80	Centre parcelle AX491	Nord parcelle AX491
					Position	Amont	Central	Aval immédiat
Métaux et métalloïdes								
Arsenic (As)	µg/L	10	10	10		6	8	6
Cadmium (Cd)	µg/L	5	3	5		<5	<5	<5
Chrome (Cr)	µg/L	50	50	-		<5	<5	<5
Cuivre (Cu)	µg/L	2000	2000	-		<10	<10	<10
Mercure (Hg)	µg/L	1	6	1		<20	<20	<20
Nickel (Ni)	µg/L	20	70	-		<5	<5	<5
Plomb (Pb)	µg/L	10	10	10		<5	<5	<5
Zinc (Zn)	µg/L	-	-	-		<20	<20	<20
Hydrocarbures volatils C5-C10								
Fraction C5-C8	µg/L	-	-	-		< 30	9 050	111
Fraction C8-C10	µg/L	-	-	-		< 30	2 280	67,2
Somme des HC C5-C10 (1)	µg/L	-	-	-		< 60	11 300	178
Indice hydrocarbures C10-C40								
Fraction C10-C16	µg/L	-	-	-		12	3 340	79
Fraction C16-C22	µg/L	-	-	-		46	88	15
Fraction C22-C30	µg/L	-	-	-		36	551	68
Fraction C30-C40	µg/L	-	-	-		27	304	36
Indice hydrocarbures C10-C40 (1)	µg/L	-	-	-		120	4 280	200
Hydrocarbures aromatiques polycycliques								
Naphtalène	µg/L	-	-	-		0,1	2,1	0,85
Acénaphthylène	µg/L	-	-	-		< 0,01	0,05	< 0,01
Acénaphthène	µg/L	-	-	-		< 0,01	0,09	< 0,01
Fluorène	µg/L	-	-	-		0,01	0,29	< 0,01
Phénanthrène	µg/L	-	-	-		0,06	0,42	< 0,01
Anthracène	µg/L	-	-	-		0,02	0,02	< 0,01
Fluoranthène (3)	µg/L	-	-	-		0,11	0,16	0,02
Pyrène	µg/L	-	-	-		0,1	0,22	0,04
Benzo(a)-anthracène	µg/L	-	-	-		0,05	0,02	< 0,01
Chrysène	µg/L	-	-	-		0,05	0,16	< 0,01
Benzo(b)fluoranthène (2)(3)	µg/L	-	-	-		0,06	0,09	< 0,01
Benzo(k)fluoranthène (2)(3)	µg/L	-	-	-		0,05	0,07	0,02
Benzo(a)pyrène (3)	µg/L	0,01	0,7	-		0,0539	0,192	0,0105
Dibenzo(a,h)anthracène	µg/L	-	-	-		< 0,01	0,05	< 0,01
Benzo(ghi)Pérylène (2)(3)	µg/L	-	-	-		0,03	< 0,01	< 0,01
Indeno(1,2,3-cd)pyrène (2)(3)	µg/L	-	-	-		0,04	0,02	< 0,01
Somme des 4 HAP (2)	µg/L	0,1	-	-		0,18	0,18	0,02
Somme des 6 HAP (3)	µg/L	-	-	-		0,344	0,532	0,051
Hydrocarbures aromatiques monocycliques								
Benzène	µg/L	1	10	-		< 0,50	258	30,6
Toluène	µg/L	-	700	-		< 1,00	1 990	2,8
Ethylbenzène	µg/L	-	300	-		< 1,00	1 750	< 1,00
m,p-Xylène	µg/L	-	-	-		< 1,00	5 580	102
o-Xylène	µg/L	-	-	-		< 1,00	1 100	1,2
Somme xylènes	µg/L	-	500	-		< 1,00	6 680	103,2
Somme des BTEX	µg/L	-	-	-		< 1,00	17 358	239,8
Composés Organo Halogénés Volatils								
Tetrachloroéthylène	µg/L	-	40	10		< 1,00	< 1,00	< 1,00
Trichloroéthylène	µg/L	-	20	10		< 1,00	< 1,00	< 1,00
Somme TCE + PCE	µg/L	10	-	-		<LQ	<LQ	<LQ
cis 1,2-Dichloroéthylène	µg/L	-	-	-		< 2,00	13,1	< 2,00
Trans-1,2-dichloroéthylène	µg/L	-	-	-		< 2,00	< 2,00	< 2,00
Somme cis + trans-1,2-DCE	µg/L	-	50	-		<LQ	13,1	<LQ
1,1-Dichloroéthylène	µg/L	-	-	-		< 2,00	< 2,00	< 2,00
Chlorure de Vinyle	µg/L	0,5	0,3	-		< 0,50	2,33	< 0,50
1,1,2-Trichloroéthane	µg/L	-	-	-		< 5,00	< 5,00	< 5,00
1,1,1-trichloroéthane	µg/L	-	-	-		< 2,00	< 2,00	< 2,00
1,2-dichloroéthane	µg/L	3	30	-		< 1,00	< 1,00	< 1,00
1,1-dichloroéthane	µg/L	-	-	-		< 2,00	< 2,00	< 2,00
Tetrachlorométhane	µg/L	-	4	-		< 1,00	< 1,00	< 1,00
Chloroforme (4)	µg/L	100	300	-		< 2,00	4	< 2,00
Dichlorométhane	µg/L	-	-	-		< 5,00	< 5,00	< 5,00
Bromodichlorométhane (4)	µg/L	-	-	-		< 5,00	< 5,00	< 5,00
Bromochlorométhane	µg/L	-	-	-		< 5,00	< 5,00	< 5,00
Dibromochlorométhane (4)	µg/L	-	-	-		< 2,00	< 2,00	< 2,00
Bromoforme (4)	µg/L	-	-	-		< 5,00	< 5,00	< 5,00
Somme (4)	µg/L	100	-	-		<LQ	4	<LQ
1,2-Dibromoéthane	µg/L	-	-	-		< 1,00	< 1,00	< 1,00
Dibromométhane	µg/L	-	-	-		< 5,00	< 5,00	< 5,00
Somme des COHV	µg/L	-	-	-		< LQ	19,43	< LQ

(1) Annexe 2 arrêté du 11/01/07 : valeur limite pour l'ensemble des hydrocarbures

(2) Annexe 1 arrêté du 11/01/07 : somme des benzo(b) fluoranthène, benzo(k) fluoranthène, benzo(g,h,i)Pérylène, indeno(1,2,3,c-d)pyrène

(3) Annexe 2 arrêté du 11/01/07 : somme des benzo(b) fluoranthène, benzo(k) fluoranthène, benzo(g,h,i)Pérylène, indeno(1,2,3,c-d)pyrène, fluoranthène, benzo(a)pyrène

(4) Annexe 1 arrêté du 11/01/07 : somme des chloroforme, bromoforme, dibromochlorométhane, bromodichlorométhane

concentration supérieure à un des seuils eau potable

concentration supérieure aux seuils de l'arrêté du 17/12/08

concentration supérieure au seuil eaux brutes

Tableau 10 : Résultats des analyses dans les eaux souterraines (février 2018 et juin 2023)

		Valeurs de référence dans l'eau				Campagne	Campagne du 01/02/2018			Campagne de prélèvement du 01/06/2023				
		Eau potable - Anx1 de l'arrêté du 11/01/07 modifié (1) (valeur limite, sauf italique : référence)	Eau potable (OMS, 2017) en italique : provisoire	Critères d'évaluation - Arrêté 23/06/2016	Eaux brutes - Anx2 de l'Arrêté du 11/01/07 modifié (1)	Piezomètre	Pz1	Pz2	Pz3	Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Pz5
Métaux et métalloïdes														
Arsenic (As)	mg/L	0.01	0.01	0.01	0.1		0.006	0.008	0.006	<0.005	0.015	0.008	<0.005	0.011
Cadmium (Cd)	mg/L	0.005	0.003	0.005	0.005		<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Chrome (Cr)	mg/L	0.025	0.05	-	0.05		<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Cuivre (Cu)	mg/L	2	2	-	-		<0.01	<0.01	<0.01	0.03	0.03	0.03	0.07	<0.01
Mercure (Hg)	mg/L	0.001	0.006	0.001	0.001		<0.02	<0.02	<0.02	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Nickel (Ni)	mg/L	0.02	0.07	-	-		<0.005	<0.005	<0.005	0.007	<0.005	<0.005	0.011	0.006
Plomb (Pb)	mg/L	0.005	0.01	0.01	0.05		<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.013	<0.005	<0.005	<0.005
Zinc (Zn)	mg/L	-	-	-	5		<0.02	<0.02	<0.02	0.05	0.06	0.03	0.04	0.04
Hydrocarbures volatils														
C5-C6 Aliphatiques	mg/L	-	-	-	-		-	-	-	<0.03	4.36	0.143	<0.03	<0.03
>C6-C8 Aliphatiques	mg/L	-	-	-	-		-	-	-	<0.03	2.9	0.152	<0.03	<0.03
>C8-C10 Aliphatiques	mg/L	-	-	-	-		-	-	-	<0.03	0.345	<0.03	<0.03	<0.03
C6-C9 Aromatiques	mg/L	-	-	-	-		-	-	-	<0.03	6.99	0.486	<0.03	<0.03
>C9-C10 Aromatiques	mg/L	-	-	-	-		-	-	-	<0.03	2.08	0.201	<0.03	<0.03
C5-C10 Total	mg/L	-	-	-	1		<LQ	11.3	0.178	<LQ	16.7	0.982	<LQ	<LQ
Hydrocarbures totaux														
Fraction C10-C12	mg/L	-	-	-	-		0.012	3.34	0.079	<0.004	1.11	0.192	0.005	0.007
Fraction C12-C16	mg/L	-	-	-	-					<0.004	0.069	0.019	0.014	0.009
Fraction C16-C20	mg/L	-	-	-	-		0.046	0.088	0.015	<0.004	0.008	0.004	0.014	0.004
Fraction C20-C24	mg/L	-	-	-	-					<0.004	0.009	0.02	0.01	0.006
Fraction C24-C28	mg/L	-	-	-	-		0.036	0.551	0.068	<0.004	0.025	0.087	0.009	0.015
Fraction C28-C32	mg/L	-	-	-	-					<0.004	0.025	0.049	0.005	0.012
Fraction C32-C36	mg/L	-	-	-	-					<0.004	0.014	0.005	<0.004	0.008
Fraction C36-C40	mg/L	-	-	-	-		0.027	0.304	0.036	<0.004	0.004	0.007	<0.004	<0.004
Indice HC C10-C40	mg/L	-	-	-	1		0.12	4.28	0.2	<LQ	1.26	0.385	0.06	0.064
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)														
Naphtalène	µg/L	-	-	-	-		0.1	2.1	0.85	0.08	110	18	0.03	<0.01
Acénaphthène	µg/L	-	-	-	-		< 0.01	0.05	< 0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Acénaphthène	µg/L	-	-	-	-		< 0.01	0.09	< 0.01	<0.01	0.03	<0.01	<0.01	<0.01
Fluorène	µg/L	-	-	-	-		0.01	0.29	< 0.01	<0.01	0.04	<0.01	<0.01	<0.01
Phénanthrène	µg/L	-	-	-	-		0.06	0.42	< 0.01	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01
Anthracène	µg/L	-	-	-	-		0.02	0.02	< 0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Fluoranthène (4)	µg/L	-	-	-	-		0.11	0.16	0.02	0.04	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Pyrène	µg/L	-	-	-	-		0.1	0.22	0.04	0.03	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Benzo(a)anthracène	µg/L	-	-	-	-		0.05	0.02	< 0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Chrysène	µg/L	-	-	-	-		0.05	0.16	< 0.01	0.03	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Benzo(b)fluoranthène (3) (4)	µg/L	-	-	-	-		0.06	0.09	< 0.01	0.03	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Benzo(k)fluoranthène (3) (4)	µg/L	-	-	-	-		0.05	0.07	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Benzo(a)pyrène (4)	µg/L	0.01	0.7	-	-		0.054	0.19	0.01	0.021	<0.0075	<0.0075	<0.0075	<0.0075
Dibenzo(a,h)anthracène	µg/L	-	-	-	-		< 0.01	0.05	< 0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Benzo(g,h,i)peryène (3) (4)	µg/L	-	-	-	-		0.03	< 0.01	< 0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Indéno(1,2,3-cd)pyrène (3) (4)	µg/L	-	-	-	-		0.04	0.02	< 0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Somme des 4 HAP (3)	µg/L	0.1	-	-	-		0.18	0.18	0.02	0.07	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Somme des 6 HAP (4)	µg/L	-	-	-	1		0.34	0.53	0.05	0.13	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Hydrocarbures Aromatiques Monocycliques (HAM)														
Benzène	µg/L	1	10	-	-		< 0.50	258	30.6	<0.50	227	3.18	1.56	<0.50
Toluène	µg/L	-	700	-	-		< 1.00	1 990	2.8	<1.00	494	9.8	<1.00	<1.00
Ethylbenzène	µg/L	-	300	-	-		< 1.00	1 750	< 1.00	<1.00	405	75.7	<1.00	<1.00
o-Xylène	µg/L	-	-	-	-		< 1.00	1 100	1.2	<1.00	471	31.8	<1.00	<1.00
Xylène (méta-, para-)	µg/L	-	-	-	-		< 1.00	5 580	102	<1.00	1230	187	2.8	<1.00
Somme xylènes	µg/L	-	500	-	-		< 1.00	6 680	103.2	<LQ	1701	218.8	2.8	<LQ
Somme des BTEX	µg/L	-	-	-	-		<LQ	17 358	240	<LQ	4 528	526	4	<LQ
Composés Organo Halogénés Volatils (COHV)														
Tétrachloroéthylène (PCE)	µg/L	-	40	10	-		< 1.00	< 1.00	< 1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00
Trichloroéthylène (TCE)	µg/L	-	20	10	-		< 1.00	< 1.00	< 1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00
Somme TCE + PCE	µg/L	10	-	-	-		<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
cis 1,2-Dichloroéthylène	µg/L	-	-	-	-		< 2.00	13.1	< 2.00	<2.00	5.4	<2.00	<2.00	<2.00
Trans-1,2-dichloroéthylène	µg/L	-	-	-	-		< 2.00	< 2.00	< 2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00
Somme cis + trans-DCE	µg/L	-	50	-	-		<LQ	13.1	<LQ	<LQ	5.4	<LQ	<LQ	<LQ
1,1-Dichloroéthylène	µg/L	-	-	-	-		< 2.00	< 2.00	< 2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00
Chlorure de vinyle	µg/L	0.5	0.3	-	-		< 0.50	2.33	< 0.50	<0.50	4.03	<0.50	<0.50	<0.50
1,1,1-Trichloroéthane	µg/L	-	-	-	-		< 2.00	< 2.00	< 2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00
1,1,2-Trichloroéthane	µg/L	-	-	-	-		< 5.00	< 5.00	< 5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00
1,1-Dichloroéthane	µg/L	-	-	-	-		< 2.00	< 2.00	< 2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00
1,2-Dichloroéthane	µg/L	3	30	-	-		< 1.00	< 1.00	< 1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00
Tétrachlorométhane (tétrachlorure de carbone)	µg/L	-	4	-	-		< 1.00	< 1.00	< 1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00
Dichlorométhane	µg/L	-	20	-	-		< 5.00	< 5.00	< 5.00	<5.00	133	<5.00	<5.00	<5.00
Trichlorométhane (chloroforme) (5)	µg/L	-	300	-	-		< 2.00	4	< 2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00
Bromodichlorométhane (5)	µg/L	-	-	-	-		< 5.00	< 5.00	< 5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00
Bromoforme (tribromométhane) (5)	µg/L	-	-	-	-		< 5.00	< 5.00	< 5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00
Dibromochlorométhane (5)	µg/L	-	-	-	-		< 2.00	< 2.00	< 2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00
Bromochlorométhane	µg/L	-	-	-	-		< 5.00	< 5.00	< 5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00
Dibromométhane	µg/L	-	-	-	-		< 5.00	< 5.00	< 5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00
1,2-Dibromoéthane	µg/L	-	-	-	-		< 1.00	< 1.00	< 1.00	<1.00	5.3	<1.00	<1.00	<1.00
Somme trihalométhanes (5)	µg/L	100	-	-	-		<LQ	4	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ

(1) Arrêté modifié par l'arrêté du 30/12/2022
(2) Annexe 2 arrêté du 11/01/07 : valeur limite pour l'ensemble des hydrocarbures
(3) Annexe 2 arrêté du 11/01/07 : somme des benzo(b) fluoranthène, benzo(k) fluoranthène, benzo(g,h,i)peryène, indéno(1,2,3,c-d)pyrène
(4) Annexe 2 arrêté du 11/01/07 : somme des benzo(b) fluoranthène, benzo(k) fluoranthène, benzo(g,h,i)peryène, indéno(1,2,3,c-d)pyrène, fluoranthène, benzo(a)pyrène
(5) Annexe 1 arrêté du 11/01/07 : somme des chloroforme, bromoforme, dibromochlorométhane, bromodichlorométhane

concentration supérieure à un des seuils "eau potable"
concentration supérieure aux seuils de l'arrêté du 17/12/08
concentration supérieure au seuil "eaux brutes"

LQ : Limite de quantification du laboratoire

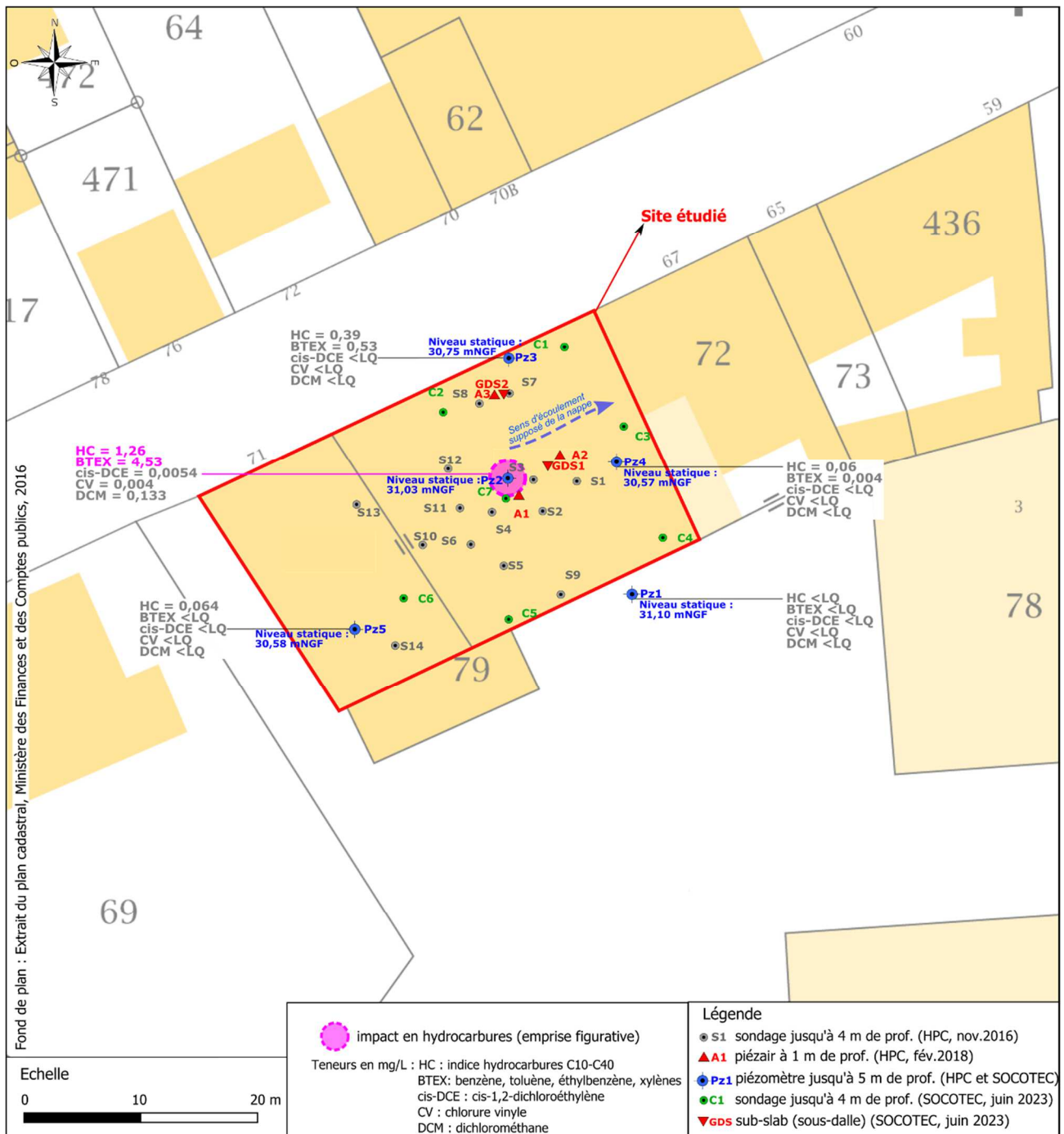


Figure 8 : Synthèse des analyses obtenues dans les eaux souterraines en juin 2023

Tableau 9 : Résultats des analyses sur les gaz du sol (février 2018)

		Bruit de fond			Valeurs réglementaires	Valeurs guides		Concentrations calculées			
		AIR INTERIEUR			AIR EXTERIEUR	AIR EXTERIEUR et INTERIEUR	AIR INTERIEUR	Campagne de prélèvement du 01 février 2018			
		Bruit de fond logements OQAI (centile 95) (mai 2007)	DRASS Ile de France - Laboratoire d'hygiène de la Ville de Paris (2002)	ATMOSF'AIR - Cas de lieux publics (2002-2003)	Valeurs réglementaires - décret 2002-213 (valeur limite) ou directive 2004/107/CE	Valeurs guide OMS (2001 et 2005)	Valeurs guide ANSES ou INDEX, valeurs repère HCSP (1)	A1	A2	A3	Blanc
								Proximité immédiate des cuves enterrées	Proximité des cuves enterrées	Proximité immédiate des volumètres	
Volume pompé	m ³	-	-	-	-	-	-	0,0315	0,0315	0,0315	-
Hydrocarbures par TPH											
Aliphatic nC>5-nC6	µg/m ³	-	-	0,5 à 259,4	-	-	-	16 317,5	1 219	108,9	< 2,50
Aliphatic nC>6-nC8	µg/m ³	-	-	0,4 à 25,1	-	-	-	15 342,9	3 152,4	879,4	< 2,50
Aliphatic nC>8-nC10 (3)	µg/m ³	6,4	-	3,4 à 582,1	-	-	-	4 857,1	720,6	1 742,9	< 2,50
Aliphatic nC>10-nC12 (3)	µg/m ³	7	-	1,3 à 666,5	-	-	-	365,1	327	1 374,6	< 2,50
Aliphatic nC>12-nC16	µg/m ³	-	-	-	-	-	-	105,1	79,4	226,3	< 2,50
Somme des aliphatiques	µg/m ³	-	-	-	-	-	-	37 120,6	5 419	4 317,5	< 12,5
Aromatic nC>6-nC7 benzène	µg/m ³	-	-	-	-	-	-	5,4	14	9,5	< 0,05
Aromatic nC>7-nC8 toluène	µg/m ³	-	-	-	-	-	-	34,6	274,9	108,9	< 0,05
Aromatic nC>8-nC10	µg/m ³	-	-	-	-	-	-	314,3	2 774,6	1 539,7	< 2,50
Aromatic nC>10-nC12	µg/m ³	-	-	-	-	-	-	125,1	1 044,4	638,1	< 2,50
Aromatic nC>12-nC16	µg/m ³	-	-	-	-	-	-	< 79,37	< 79,37	< 79,37	< 2,50
Somme des aromatiques	µg/m ³	-	-	-	-	-	-	479,4	4 107,9	2 296,2	< 7,60
Somme des TPH	µg/m ³	-	-	-	-	-	-	37 600	9 527	6 613,7	-
Hydrocarbures aromatiques polycycliques											
Naphtalène	µg/m ³	-	-	-	-	-	10	< 3,18	4,76	< 3,18	< 0,10
Hydrocarbures aromatiques monocycliques											
Benzene	µg/m ³	2,9	médiane = 1,9 et percentile 90 = 3,7	-	5	1,7	2	5,40	13,97	9,52	< 0,05
Toluene	µg/m ³	12,9	-	-	-	260	-	34,60	274,92	108,89	< 0,05
Ethylbenzene	µg/m ³	2,6	-	-	-	-	-	30,48	173,97	54,29	< 0,05
m+p - Xylene	µg/m ³	7,1	-	-	-	-	200	95,56	657,14	346,03	< 0,05
o - Xylene	µg/m ³	2,7	-	-	-	-	-	21,90	695,24	85,40	< 0,05
Composés organo halogénés volatils											
Tétrachloroéthylène (2)	µg/m ³	3,9	-	1,4	-	250	250	11,75	2,54	< 1,59	< 0,05
Trichloroéthylène	µg/m ³	2,3	-	157,2	-	23	2	< 1,59	< 1,59	< 1,59	< 0,05
cis 1,2-dichloroéthène	µg/m ³	-	-	-	-	-	-	< 1,59	< 1,59	< 1,59	< 0,05
trans 1,2-Dichloroéthène	µg/m ³	-	-	-	-	-	-	< 1,59	< 1,59	< 1,59	< 0,05
1,1-Dichloroéthène	µg/m ³	-	-	-	-	-	-	< 1,59	< 1,59	< 1,59	< 0,05
Chlorure de vinyle	µg/m ³	-	-	-	-	10	-	< 3,18	< 3,18	< 3,18	< 0,1
1,1,2-Trichloroéthane	µg/m ³	-	-	-	-	-	-	< 1,59	< 1,59	< 1,59	< 0,05
1,1,1-Trichloroéthane	µg/m ³	-	-	-	-	-	-	< 1,59	< 1,59	< 1,59	< 0,05
1,2-Dichloroéthane	µg/m ³	-	-	-	-	700	-	< 1,59	< 1,59	< 1,59	< 0,05
1,1-Dichloroéthane	µg/m ³	-	-	-	-	-	-	< 1,59	< 1,59	< 1,59	< 0,05
Tétrachlorométhane	µg/m ³	-	-	-	-	-	-	< 1,59	< 1,59	< 1,59	< 0,05
Chloroforme	µg/m ³	-	-	-	-	-	-	< 1,59	39,37	< 1,59	< 0,05
Dichlorométhane	µg/m ³	-	-	-	-	450	-	< 3,18	< 3,18	< 3,18	< 0,1
Bromochlorométhane	µg/m ³	-	-	-	-	-	-	< 1,59	< 1,59	< 1,59	< 0,05
Dibromométhane	µg/m ³	-	-	-	-	-	-	< 1,59	< 1,59	< 1,59	< 0,05
1,2-Dibromoéthane	µg/m ³	-	-	-	-	-	-	< 1,59	3,81	< 1,59	< 0,05
Bromoforme	µg/m ³	-	-	-	-	-	-	< 1,59	< 1,59	< 1,59	< 0,05
Bromodichlorométhane	µg/m ³	-	-	-	-	-	-	< 1,59	< 1,59	< 1,59	< 0,05
Dibromochlorométhane	µg/m ³	-	-	-	-	-	-	< 1,59	< 1,59	< 1,59	< 0,05
MTBE											
MTBE	µg/m ³	-	-	-	-	-	-	< 79,37	< 79,37	< 79,37	< 2,50

(1) en gras : valeur repère du HCSP, souligné : valeur guide de l'ANSES (VGAI), en italique : valeur guide projet INDEX

(2) valeur guide OMS et ANSES relative aux expositions chroniques au tétrachloroéthylène pour les effets non cancérogènes uniquement.

(3) Les valeurs de bruit de fond OQAI concernent respectivement le n-décane et n-undécane.

Support saturé (teneur = somme des concentrations mesurées sur les zones de mesure et de contrôle)
Concentration supérieure aux bruits de fond
Concentration supérieure aux valeurs réglementaires
Concentration supérieure aux valeurs guides

Tableau 11 : Résultats des analyses dans les gaz du sol (juin 2023)

		AIR EXTERIEUR			AIR INTERIEUR				Campagne du 01/06/2023					
		Bruit de fond (source OQAI (P90) ou INERIS, 2009 (urbain))	Valeurs réglementaires - décret n° 2010- 1250 (valeur limite / valeur	Valeurs guide OMS	Bruit de fond logement (P90 - source OQAI)	Valeur réglementair e Décret n°2011- 1727	VGAI ANSES, VRAI HCSP, INDEX, VG OMS (1)	Seuil R1 "établis- sements sensibles"	Proximité des cuves enterrées (au sein de l'ancien atelier mécanique)			Abords immédiats des anciens volucompteurs		Blanc
									A1	A2	GDS1	A3	GDS2	
Profondeur des tubes crépinés	m								0,5 à 1 m	0,5 à 1 m	sous-dalle	0,5 à 1 m	sous-dalle	en µg/tube
Volume pompé sur tube à charbon	m³								0.039	0.046	0.045	0.038	0.036	
Hydrocarbures par TPH														
Aliphatic nC>5-nC6	mg/m3	-	-	-	-	-	-	18	12.2 *	0.38	<0.06	<0.07	<0.07	<2.5
Aliphatic nC>6-nC8	mg/m3	-	-	-	-	-	-	18	10.7 *	0.40	<0.06	<0.07	<0.07	<2.5
Aliphatic nC>8-nC10	mg/m3	-	-	-	0.0291	-	-	1	0.34	<0.05	<0.06	<0.07	<0.07	<2.5
Aliphatic nC>10-nC12 (2)	mg/m3	0.0098	-	-	0.0336	-	-	1	<0.1	<0.05	<0.06	<0.07	<0.07	<2.5
Aliphatic nC>12-nC16	mg/m3	-	-	-	-	-	-	1	<0.1	<0.05	<0.06	<0.07	<0.07	<2.5
Aromatic nC>6-nC7 benzène	mg/m3	voir benzène	voir benzène	voir benzène	voir benzène	voir benzène	voir benzène	voir benzène	-	-	-	-	-	<0.05
Aromatic nC>7-nC8 toluène	mg/m3	voir toluène	voir toluène	voir toluène	voir toluène	voir toluène	voir toluène	voir toluène	-	-	-	-	-	0.39
Aromatic nC>8-nC10	mg/m3	-	-	-	-	-	-	0.2	<0.1	<0.05	<0.06	<0.07	<0.07	<2.5
Aromatic nC>10-nC12	mg/m3	-	-	-	-	-	-	0.2	<0.1	<0.05	<0.06	<0.07	<0.07	<2.5
Aromatic nC>12-nC16	mg/m3	-	-	-	-	-	-	0.2	<0.1	<0.05	<0.06	<0.07	<0.07	<2.5
Somme des TPH	mg/m3	-	-	-	-	-	-	-	23.23 *	0.78	-	-	-	-
HAP														
Naphtalène	mg/m3	0.000009			-	-	0.01	0.01	<0.003	<0.002	<0.002	<0.003	<0.003	<0.1
BTEX														
Benzene	mg/m3	0.0022	0.005	0.0017	0.0057	0.002	0.002	0.002	0.0046	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.05
Toluene	mg/m3	0.009	-	-	0.0469	-	20	20	0.040 *	0.029 *	0.023 *	0.031	0.043 *	0.39
Ethylbenzene	mg/m3	0.0021	-	-	0.0075	-	1.5	1.5	0.010	0.0026	<0.002	0.0061	0.0049	<0.1
m+p - Xylene	mg/m3	0.0056	-	-	0.022	-	0.2	0.2	0.032	0.010	0.0029	0.031	0.023	<0.1
o - Xylene	mg/m3	0.0023	-	-	0.0081	-	0.2	0.2	0.0072	0.0039	0.0011	0.010	0.0077	<0.05
COHV														
Tétrachloroéthylène (PCE)	mg/m3	0.0024	-	0.25	0.0052	-	0.25	0.25	0.0077	0.0024	0.0074	<0.001	<0.001	<0.05
Trichloroéthylène (TCE)	mg/m3	0.0016	-	0.023	0.0033	-	0.01	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.05
cis-1,2-dichloroéthylène	mg/m3	-	-	-	-	-	-	0.06	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.0500
trans-1,2-dichloroéthylène	mg/m3	-	-	-	-	-	-	-	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.0500
1,1-dichloroéthylène	mg/m3	-	-	-	-	-	-	-	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.0500
Chlorure de Vinyle	mg/m3	-	-	0.01	-	-	-	0.0026	<0.003	<0.002	<0.002	<0.003	<0.003	<0.100
1,1,1-trichloroéthane	mg/m3	-	-	-	-	-	-	1	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.0500
1,2-dichloroéthane	mg/m3	-	-	-	-	-	-	-	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.0500
Tétrachlorométhane (tétrachlorure de carbone)	mg/m3	-	-	-	-	-	-	0.11	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.0500
Trichlorométhane (chloroforme)	mg/m3	-	-	-	-	-	-	0.063	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.05
Dichlorométhane	mg/m3	-	-	-	-	-	-	0.01	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.05
Tribromométhane (Bromoforme)	mg/m3	-	-	-	-	-	-	-	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.0500
Dibromométhane	mg/m3	-	-	-	-	-	-	-	<0.003	<0.002	<0.002	<0.003	<0.003	<0.100
1,2-Dibromoéthane	mg/m3	-	-	-	-	-	-	-	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.0500
Bromochlorométhane	mg/m3	-	-	-	-	-	-	-	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.0500
Bromdichlorométhane	mg/m3	-	-	-	-	-	-	-	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.05

*: somme des teneurs de la Zone de mesure + la Zone de contrôle (teneur >LQ sur la Zone de contrôle).

(1) en gras : valeur repère du HCSP /// souligné : valeur guide de l'ANSES (VGA) /// en italique : valeur guide projet INDEX.

(2) La valeur de bruit de fond OQAI concerne la somme du n-décane et du n-undécane.

Concentration supérieure au bruit de fond	
Concentration supérieure aux valeurs réglementaires	
Concentration supérieure à une valeur guide	
Concentration supérieure à une valeur R1 "établissement sensible"	

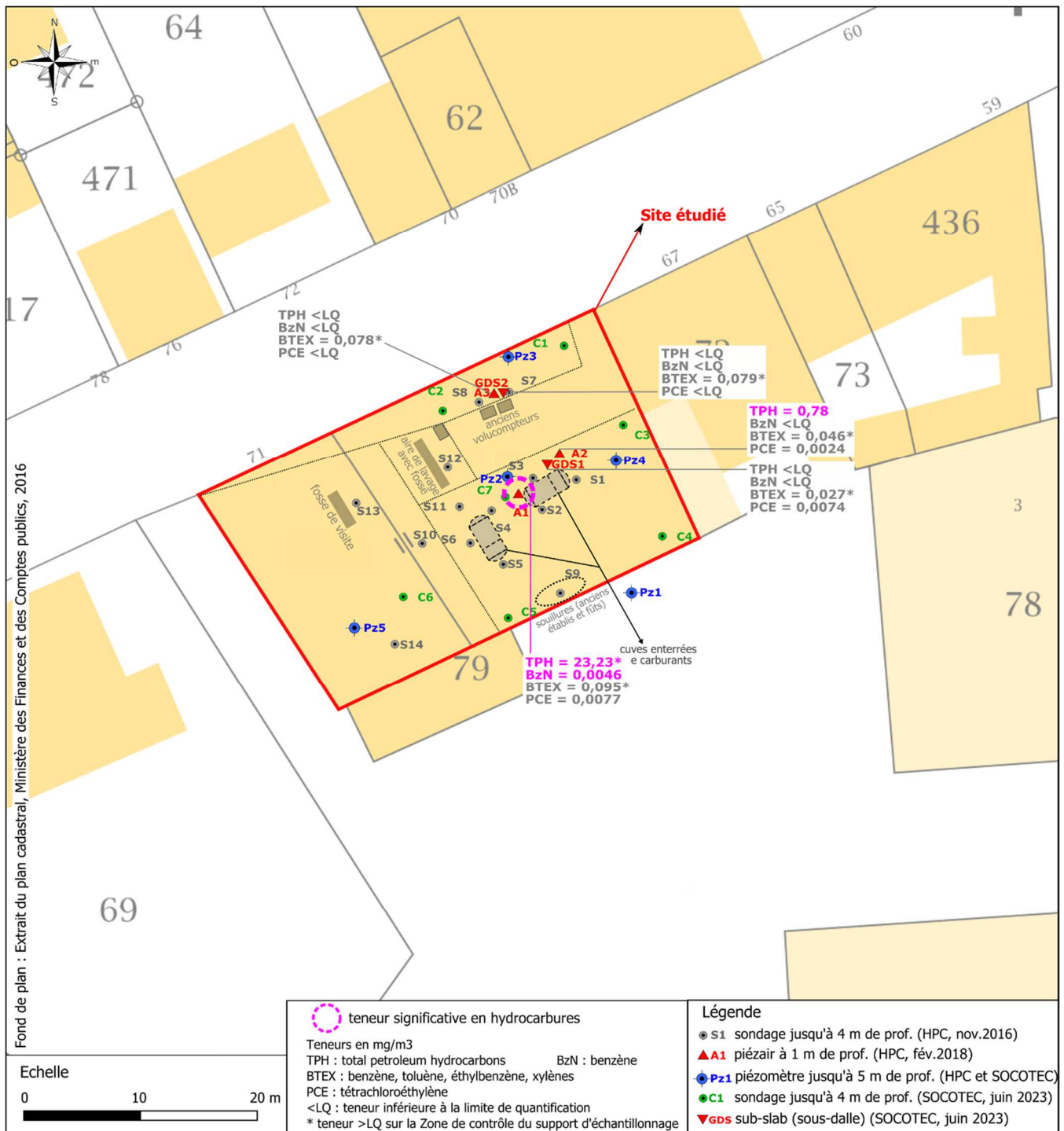


Figure 9 : Synthèse des analyses obtenues dans les gaz du sol en juin 2023

Annexe 3.

Analyse des Risques Résiduels

Cette annexe contient 49 pages (Annexes de l'ARR comprises).

EPF BRETAGNE

Ancien atelier mécanique sis 69, rue de
Pont-Aven (Kervidanou) à QUIMPERLE (29)

Annexe : Analyse des Risques Résiduels (ARR)

Annexe de rapport (Plan de Gestion des pollutions (mise-à-jour))

Réf : LB2700811 / RLB25144-01

GDU / MIB / PL

13/02/2025



GINGER BURGEAP Agence Loire-Bretagne • ZAC des hauts de Couëron 3
24 quater rue Jan Palach • 44220 COUERON
Tél. 33 (0) 2 40 38 67 06 • burgeap.nantes@groupeginger.com



SIGNALETIQUE

CLIENT

RAISON SOCIALE	EPF BRETAGNE
COORDONNÉES	14, avenue Henri Fréville - CS90721 35207 RENNES Cedex 2
INTERLOCUTEUR	Grégoire HUVER - Opérateur foncier Tél : 02 99 86 74 44 • gregoire.huver@epfbretagne.fr




GINGER BURGEAP

ENTITE EN CHARGE DU DOSSIER	Agence de Loire-Bretagne 24 quater rue Jan Palach • 44220 COUERON Tél : 33 (0) 2 40 38 67 06 • burgeap.nantes@groupeginger.com
CHEF DU PROJET	Guilhem DUCHET Tél : 06 80 75 41 67 • g.duchet@groupeginger.com
COORDONNÉES Siège Social <i>SAS au capital de 1 200 000 euros dirigée par Edgar COULOMB</i> <i>SIRET 682 008 222 000 79 / RCS Nanterre B 682 008 222 / Code APE 7112B / CB BNP Neuilly – S/S 30004 01925 00010066129 29</i>	Siège Social 143, avenue de Verdun • 92442 ISSY LES MOULINEAUX Tél : 01.46.10.25.70 • burgeap@groupeginger.com

RAPPORT

Numéro de projet / de rapport :	Réf : LB2700811 / RLB25144-01
Numéro d'affaire :	1972
Domaine technique :	SP03

SIGNATAIRES

DATE	Indice	Rédaction Nom / signature	Vérification Nom / signature	Supervision / validation Nom / signature
13/02/2025	01	G. DUCHET 	M. BOUVET 	P. PICARD 
	02			

SOMMAIRE DE L'ARR

1.	Conceptualisation de l'exposition.....	4
2.	Analyse des Risques Résiduels	8
2.1	Contexte et méthodologie	8
2.2	Composés et concentrations retenues dans les différents milieux	9
2.3	Identification des dangers.....	12
2.4	Caractérisation des Relation dose-réponse	12
2.5	Estimation des expositions.....	14
2.5.1	Estimation des concentrations dans les différents milieux	14
2.5.2	Estimation des expositions.....	18
2.6	Quantification des risques sanitaires	19
2.6.1	Méthodologie.....	19
2.6.2	Quantification des risques sanitaires au droit du site	20
2.7	Analyse des incertitudes	20
3.	Conclusion de l'ARR	23
3.1	Conclusion sur les incertitudes et la sensibilité de l'ARR.....	23
3.2	Conclusion de l'ARR	23

TABLEAUX DE L'ARR

Tableau 1 : Voies d'exposition retenues.....	5
Tableau 2 : Concentrations retenues dans les différents milieux et pour le projet de parvis/stationnements aériens.....	10
Tableau 3 : Concentrations retenues dans les différents milieux et pour le projet d'un bâtiment sur vide-sanitaire	11
Tableau 4 : Valeurs toxicologiques de référence retenues	13
Tableau 5 : Paramètres retenus liés au sol	15
Tableau 6 : Paramètres retenus liés à l'aménagement extérieur.....	15
Tableau 7 : Paramètres retenus liés à l'aménagement intérieur.....	15
Tableau 8 : Concentrations calculées dans l'air extérieur.....	16
Tableau 9 : Concentrations calculées dans l'air intérieur.....	17
Tableau 10 : Budget espace/temps retenu.....	18
Tableau 11 : Synthèse des QD et ERI pour le scénario « Parvis et stationnement aérien »	20
Tableau 12 : Synthèse des QD et ERI pour le scénario « Habitat collectif à l'étage »	20
Tableau 14 : Variables générant les incertitudes majeures de l'évaluation	21

ANNEXES DE L'ARR

Annexe 3-1. Données toxicologiques
Annexe 3-2. Relations dose-réponse
Annexe 3-3. Estimation des concentrations dans les milieux d'exposition
Annexe 3-4. Détails des calculs de dose et de risque

1. Conceptualisation de l'exposition

Cf. le **Chapitre 8** « *Schéma conceptuel avec mesures de gestion* » du rapport de Plan de gestion (mis-à-jour), ainsi que le schéma conceptuel (**Figures 9a et 9b**).

Rappelons que les enjeux à considérer **sur site** sont les futurs usagers du site avec, soit le projet de parvis et de stationnements aériens, soit celui d'un nouveau bâtiment devant accueillir des logements aux étages et des bureaux/commerces/stationnements en RdC. Ainsi, les futurs usagers du site sont soit des adultes/enfants de passage, soit des travailleurs et adultes/enfants en résidence.

Conformément aux mesures retenues dans le Plan de Gestion des pollutions, les aménagements futurs prévoient **le confinement par couverture des sols présentant une pollution résiduelle (par un dallage imperméable surmontant une épaisseur de minimum 1 m de matériau sain)**, qui permettra notamment la suppression du contact direct et de l'envol de poussières contaminées (coupant ainsi les voies d'exposition associées).

Par conséquent, l'analyse des risques concerne l'exposition des futurs usagers au droit du site étudié (parcelles AX490 et 491), avec des impacts considérés plus ou moins volatils dans les sols, en-deçà le dispositif de confinement par couverture (dallage et matériau sain de 1 m d'épaisseur).

Ces sols impactés (pollution résiduelle) doivent bénéficier de mesures de gestion/réhabilitation des pollutions (cf. Plan de Gestion) pour permettre l'aménagement d'une résidence (logements aux étages et bureaux/commerces/stationnement en RdC)

La sélection des voies d'exposition, ainsi que l'argumentaire de cette sélection, sont présentés dans le tableau en page suivante.

Le schéma conceptuel des expositions est présenté sur la figure en page d'après.

Tableau 1 : Voies d'exposition retenues

VOIES D'EXPOSITION	Adulte et enfant de passage	Adultes travailleur	Adulte et enfant résidents	RAISON DE LA SELECTION
Inhalation de polluant sous forme gazeuse	Oui	Oui	Oui	Du fait de la présence de composés volatils dans les sols, ainsi que de la dégradation de la qualité des gaz du sol.
Inhalation de polluant adsorbé sur les poussières du sol	Non	Non	Non	En raison de la <u>couverture systématique des sols en place</u> (dallage), l'inhalation et l'ingestion de sols et/ou poussières ne peuvent plus se produire.
Ingestion directe de sol et/ou de poussières	Non	Non	Non	
Ingestion d'aliments d'origine végétale cultivés sur ou à proximité du site	Non	Non	Non	Absence de culture sur site (<u>usage proscrit de potager et plantation interdite d'arbres fruitiers</u>). En raison de la <u>couverture systématique des sols en place</u> (dallage), l'envol de poussière contaminée ne pourra se produire hors site.
Ingestion d'aliments d'origine animale à partir d'animaux élevés ou pêchés à proximité du site	Non	Non	Non	Absence d'élevages actuellement et dans le futur sur site ou dans le voisinage.
Inhalation de vapeur d'eau polluée*	Non	Non	Non	Compte tenu de la mesure de remblaiement par du matériau sain et sur 1 m d'épaisseur, ainsi que la recommandation de l'emploi de canalisation antiperméation par défaut.
Ingestion d'eau contaminée*				
Absorption cutanée de sols et/ou de poussières	Non	Non	Non	En raison de la <u>couverture systématique des sols en place</u> (dallage), l'adsorption cutanée de sols/poussières ne peut plus se produire. Absence de relations dose-réponse dans la littérature scientifique**
Absorption cutanée d'eau contaminée (bain, douche, baignade en gravière)	Non	Non	Non	Absence de relations dose-réponse dans la littérature scientifique**
Absorption cutanée de polluant sous forme gazeuse	Non	Non	Non	Voie d'exposition négligeable devant la voie inhalation de vapeur. Absence de relations dose-réponse dans la littérature scientifique**

* voie d'exposition considérée par la comparaison entre les concentrations dans les eaux utilisées et les concentrations maximales admissibles dans les eaux potables (voir paragraphe des investigations sur les eaux souterraines).

** Les expositions par contact cutané avec les sols ne sont pas considérées dans la présente étude compte tenu de l'absence de valeur toxicologique de référence pour cette voie d'exposition. En effet, comme cela est préconisé dans la note d'information n°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014, en l'absence de connaissance des effets potentiels des substances étudiées par voie cutanée, la transposition de la valeur toxicologique établie par voie orale n'est pas effectuée.

Le schéma conceptuel des expositions est présenté sur les figures en pages suivantes.

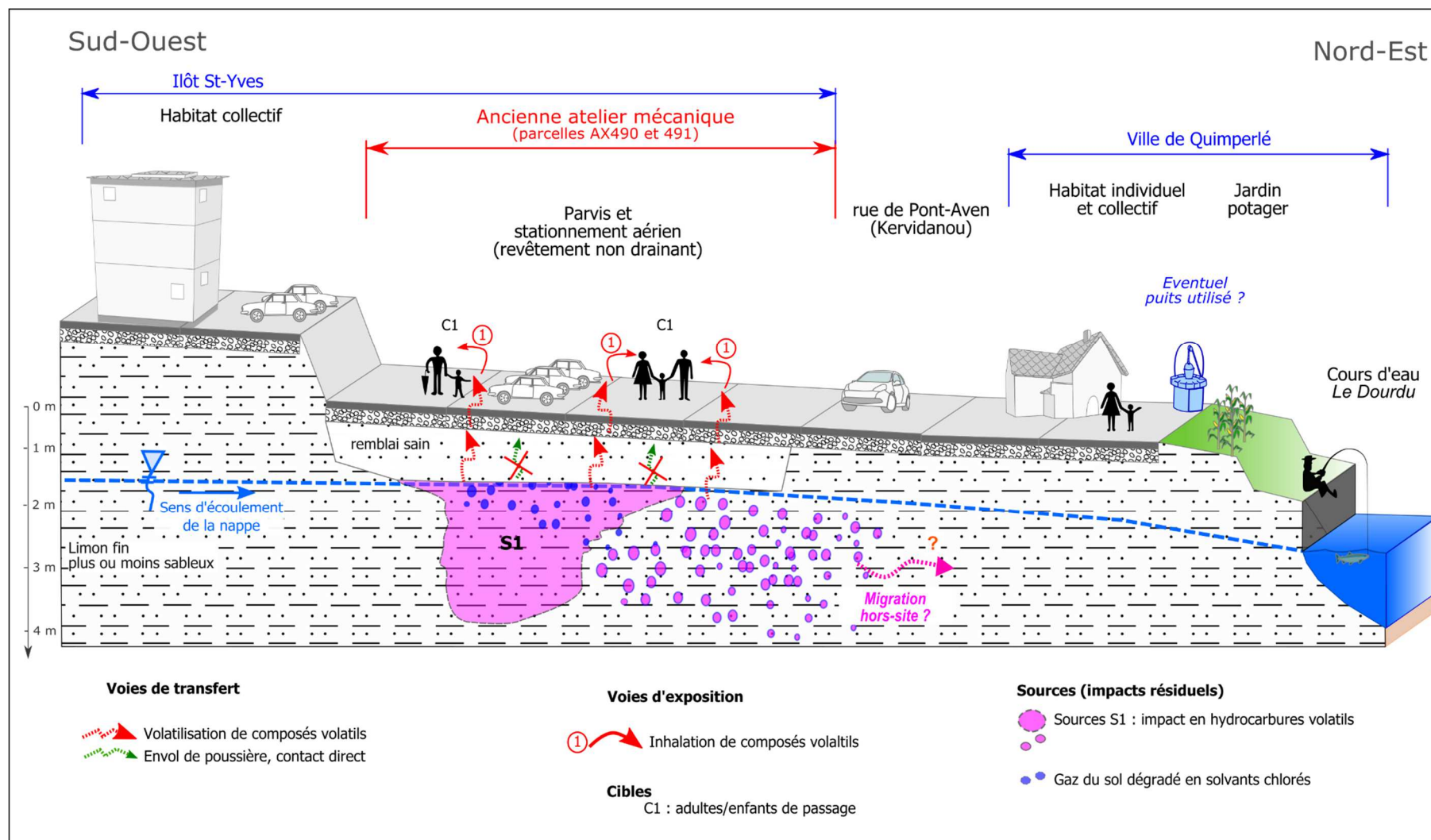


Figure 1a : Schéma conceptuel avec mesures de gestion (usage futur de parvis)

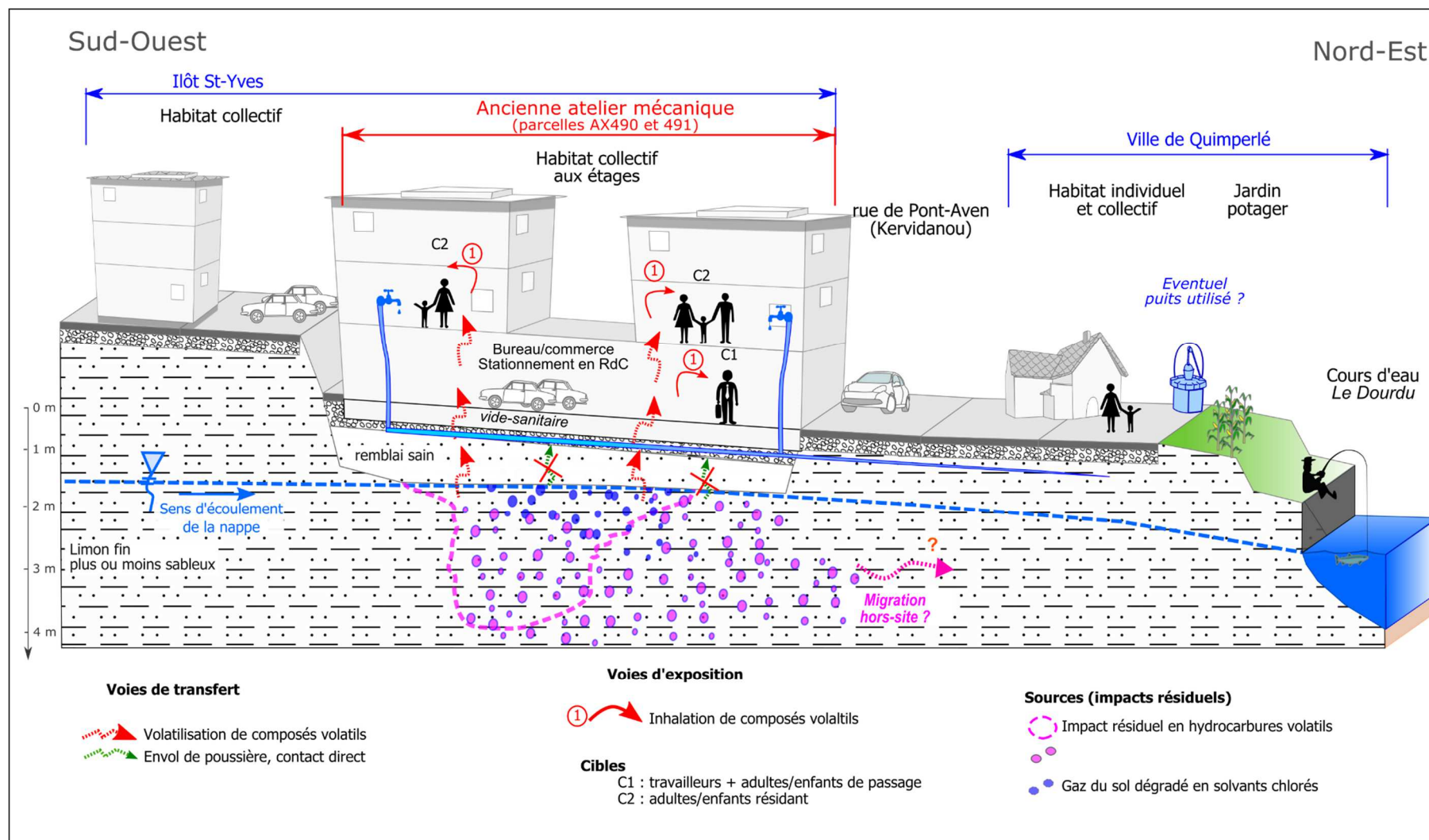


Figure 1b : Schéma conceptuel avec mesures de gestion (usage futur d'habitat aux étages)

2. Analyse des Risques Résiduels

2.1 Contexte et méthodologie

Conformément aux textes ministériels relatifs à la gestion des sites et sols pollués de 2017, la compatibilité entre l'état attendu des terrains après mise en œuvre des mesures de gestion proposées et les usages futurs du site, doit être vérifiée sur le plan sanitaire.

L'analyse des risques résiduels (ARR) consiste donc à vérifier que l'état des milieux à l'issue des travaux (concentrations « résiduelles » dans les sols) est compatible avec les usages futurs.

L'ARR qui repose sur le schéma conceptuel final peut être réalisée :

- *a priori* (avant la réalisation des travaux de réhabilitation ou « *ARR prédictive* »). Les calculs de risque sont menés sur des concentrations résiduelles estimées en tenant compte des performances connues des techniques de dépollution. Dans ce cas, lors du récolement à l'issue des travaux, les concentrations résiduelles mesurées et les caractéristiques des aménagements prévus seront comparées aux données d'entrée de la présente ARR afin de statuer sur la bonne mise en œuvre du plan de gestion. Une ARR prédictive apporte une certaine garantie sur l'acceptabilité sanitaire mais ne remplace pas celle réalisée à l'issue des travaux de réhabilitation ;
- *a posteriori* (à réception des travaux de réhabilitation ou « *ARR fin de travaux* »). Dans ce cas, à l'issue des travaux, les concentrations résiduelles mesurées lors du récolement et les caractéristiques des aménagements prévus sont intégrées à l'ARR afin de statuer sur la compatibilité entre les pollutions résiduelles et les usages.

L'ARR est ici réalisée *a priori*, avant les travaux de gestion des pollutions, en considérant les usages futurs (parvis/stationnement aérien ou bâtiment avec commerce/bureau/stationnement en RdC et logements aux étages).

L'état environnemental du terrain initial et/ou celui résiduel théorique (teneurs mesurées dans les terrains qui resteront en place, seuils de coupure, etc.), est alors pris en compte.

La méthodologie appliquée est conduite en 4 étapes :

- Etape 1 : Identification des dangers ;
- Etape 2 : Caractérisation des relations dose-réponse ;
- Etape 3 : Estimation des expositions ;
- Etape 4 : Caractérisation des risques.

Cette méthodologie nécessite l'étape préalable de choix justifié et raisonné des composés et concentrations à prendre en compte.

2.2 Composés et concentrations retenues dans les différents milieux

La synthèse des investigations sur le site, combinée aux scénarios d'exposition retenus, permet de réaliser la sélection des composés à prendre en compte pour les milieux d'exposition considérés.

Etant donné le schéma conceptuel, la principale voie d'exposition est l'inhalation de composés volatils.

Aussi, les concentrations retenues dans les sols (en hydrocarbures de type TPH et en BTEX) correspondent soit aux teneurs résiduelles sous confinement (projet de parvis et de stationnements), soit aux objectifs de réhabilitation retenus dans le Plan de Gestion.

Dans une approche sécuritaire de l'évaluation des risques sanitaires, les concentrations mesurées dans les sols en naphtalène et triméthylbenzènes, ainsi qu'en COHV dans les gaz du sol (à partir des investigations menées en 2016, 2018 et juin 2023 (HPC Envirotec et SOCOTEC)), sont également considérées pour les substances ne présentant pas d'objectif de réhabilitation. Les concentrations maximales mesurées lors de ces investigations (avant les travaux de gestion des pollutions) sont retenues pour la modélisation des expositions.

Ainsi, l'approche adoptée de l'évaluation des risques sanitaires tend à être majorante. Les concentrations retenues sont présentées dans les tableaux en pages suivantes.

Tableau 2 : Concentrations retenues dans les différents milieux et pour le projet de parvis/stationnements aériens

	Concentrations à la source retenues <u>sous le dallage en extérieur</u>		
Substances	Sols	Gaz du sol	Investigations correspondantes et critères de sélection
	mg/kg	mg/m³	
HAP			
Naphtalène	33	-	Teneur maximale mesurée en-deçà 1 m de prof. (échantillon S3(1,4-2,4))
BTEX			
Benzène	10,7	-	Teneur maximale mesurée en-deçà 0,5 m de prof. (échantillon S1(2,8-3,4))
Toluène	56,7	-	Teneurs maximales mesurées en-deçà 1 m de prof. (échantillon S1(1-2))
Ethylbenzène	25	-	
m,p-xylène	64,5	-	
o-xylène	31,4	-	
Isopropylbenzène (cumène)	12,2	-	Teneurs maximales mesurées en-deçà 1 m de prof. (échantillon C7(2-3))
1,2,4-triméthylbenzène (pseudocumène)	55,7	-	
1,3,5-triméthylbenzène (mésitylène)	17,4	-	
HYDROCARBURES SELON LES TPH			
Aliphatique nC>5-nC6	126	-	Teneur en TPH mesurée sur l'échantillon A1(1,0-1,5) et considérée représentative de la pollution relevée sur le secteur des anciennes cuves à carburants
Aliphatique nC>6-nC8	500	-	
Aliphatique nC>8-nC10	137	-	
Aliphatique nC>10-nC12	63	-	
Aliphatique nC>12-nC16	<LQ	-	
Aliphatique nC>16-nC35	<LQ	-	
Aliphatique nC>35	<LQ	-	
Aromatique nC>5-nC7 (benzène)	-	-	Voir benzène
Aromatique nC>7-nC8 (toluène)	-	-	Voir toluène
Aromatique nC>8-nC10	110	-	Teneur en TPH mesurée sur l'échantillon A1(1,0-1,5) et considérée représentative de la pollution relevée sur le secteur des anciennes cuves à carburants
Aromatique nC>10-nC12	173	-	
Aromatique nC>12-nC16	14	-	
Aromatique nC>16-nC21	<LQ	-	
Aromatique nC>21-nC35	11,5	-	
COHV			
Tétrachloroéthylène (PCE)	<LQ	1,18.10 ⁻⁰²	Teneur maximale mesurée sur A1 (février 2018)
Tétrachlorure de carbone (chloroforme)	<LQ	3,9.10 ⁻⁰²	Teneur maximale mesurée sur A2 (février 2018)

Rappelons que dans le cadre du projet de parvis et stationnements aériens, les concentrations maximales mesurées dans les sols, à partir de 1 m de profondeur, sont retenues pour la modélisation de l'exposition.

Concernant les hydrocarbures totaux (selon les TPH), la concentration retenue est considérée représentative de l'impact sur le secteur des anciennes cuves à carburants, et présente une répartition des fractions hydrocarbonées favorable à la volatilisation du polluant. Ainsi, la teneur de 1 160 mg/kg en TPH (échantillon A1(1,0-1,5)) est retenue avec la prédominance de la fraction aliphatique C6-C8 (500 mg/kg) considérée facilement volatile.

Au regard d'une volatilité moindre (prédominance de la fraction C28-C35), la teneur maximale mesurée en hydrocarbures totaux (4 070 mg/kg sur le sondage C6 implanté à proximité d'une fosse à vidange) n'est pas retenue en 1^{ère} approche.

La variabilité de la répartition des fractions hydrocarbonées, sera évaluée dans le paragraphe dédié aux incertitudes (cf. chapitre 2.7).

Concernant les BTEX et autres HAM, les teneurs maximales mesurées à partir de 0,5 m de profondeur sont sélectionnées avec notamment, 10,7 mg/kg en benzène (échantillon S1(2,8-3,4)) et 177,6 mg/kg en TEX (échantillon S1(1-2)).

Tableau 3 : Concentrations retenues dans les différents milieux et pour le projet d'un bâtiment sur vide-sanitaire

Substances	Concentrations à la source retenues <u>sous le bâtiment</u>		Investigations correspondantes et critères de sélection
	Sols mg/kg	Gaz du sol mg/m ³	
HAP			
Naphtalène	33	-	Teneur maximale mesurée en-deçà 1 m de prof. (échantillon S3(1,4-2,4))
BTEX			
Benzène	<LQ	-	Objectif de réhabilitation
Toluène	0,66	-	Objectif de réhabilitation (6 mg/kg) et application de la répartition observée sur l'échantillon A1(1-1,5)
Ethylbenzène	0,79	-	
m+p-Xylène	3,12	-	
o-Xylène	1,44	-	
Isopropylbenzène (cumène)	12,2	-	Teneurs maximales mesurées en-deçà 1 m de prof. (échantillon C7(2-3))
1,2,4-triméthylbenzène (pseudocumène)	55,7	-	
1,3,5-triméthylbenzène (mésitylène)	17,4	-	
HYDROCARBURES SELON LES TPH			
Aliphatique nC>5-nC6	55,0	-	Objectif de réhabilitation (500 mg/kg) et application de la répartition TPH observée sur l'échantillon A1(1-1,5)
Aliphatique nC>6-nC8	218,2	-	
Aliphatique nC>8-nC10	59,8	-	
Aliphatique nC>10-nC12	27,5	-	
Aliphatique nC>12-nC16	<LQ	-	
Aliphatique nC>16-nC35	<LQ	-	
Aromatique nC>5-nC7 (benzène)	-	-	Voir benzène
Aromatique nC>7-nC8 (toluène)	-	-	Voir toluène
Aromatique nC>8-nC10	48,0	-	Objectif de réhabilitation (500 mg/kg) et application de la répartition TPH observée sur l'échantillon A1(1-1,5)
Aromatique nC>10-nC12	75,5	-	
Aromatique nC>12-nC16	6,1	-	
Aromatique nC>16-nC21	<LQ	-	
Aromatique nC>21-nC35	9,9	-	
COHV			
Tétrachloroéthylène (PCE)	-	1,18.10 ⁻⁰²	Teneur maximale mesurée sur A1 (02-2018)
Tétrachlorure de carbone (chloroforme)	-	3,9.10 ⁻⁰²	Teneur maximale mesurée sur A2 (02-2018)

LQ : limite de quantification

Rappelons que dans le cadre du projet de construction d'un bâtiment (logements aux étages), les objectifs de réhabilitation dans les sols (cf. Plan de Gestion mis-à-jour) sont retenus pour la modélisation.

Concernant les hydrocarbures totaux (TPH et indice C₁₀-C₄₀), les analyses disponibles au droit des anciennes cuves à carburants et anciens volucompteurs mettent en évidence des répartitions variables des fractions hydrocarbonées. Par conséquent, la répartition considérée la plus volatile est retenue avec la prédominance de la fraction C6-C8 obtenue sur l'échantillon A1(1,0-1,5) qui présente une teneur significative en hydrocarbures TPH (1 160 mg/kg).

Notons que les proportions aliphatique/aromatique sont constantes pour les analyses disponibles (5 analyses selon les TPH dans les sols), avec la prédominance de la forme aliphatique (également constatée sur les analyses des gaz du sol). La répartition des fractions hydrocarbonées obtenue sur l'échantillon A1(1,0-1,5) est alors appliquée à l'objectif de réhabilitation de 500 mg/kg. La variabilité de la répartition des fractions hydrocarbonées, sera évaluée en incertitudes (cf. chapitre 2.7).

Concernant les BTEX, les objectifs en benzène (< LQ) et en TEX (6 mg/kg) sont considérées dans les sols, la répartition en TEX correspondant à celle obtenue sur l'échantillon A1(1,0-1,5).

2.3 Identification des dangers

En termes sanitaires, un danger désigne tout effet toxique, c'est-à-dire un dysfonctionnement cellulaire ou organique lié à l'interaction entre un organisme vivant et un agent chimique, physique ou biologique. La toxicité d'un composé dépend de la durée et de la voie d'exposition de l'organisme humain. Différents effets toxiques peuvent être considérés.

Pour les substances prises en compte dans le cadre de cette évaluation, les effets toxiques ont été collectés et notamment les effets cancérogènes (apparition de tumeurs), les effets mutagènes (altération du patrimoine génétique) ainsi que les effets sur la reproduction (reprotoxicité).

En ce qui concerne le potentiel cancérogène, différents organismes internationaux (l'OMS, l'Union Européenne et l'US-EPA) distinguent différentes catégories ou classes. Seule la classification de l'Union Européenne a un caractère réglementaire. C'est également la seule qui classe les substances chimiques quant à leur caractère mutagène et reprotoxique.

L'ensemble des voies d'exposition a été traité en effets chroniques, correspondant à de longues durées d'exposition (supérieures à 7 ans pour l'US-EPA et supérieures à 1 an pour l'ATSDR).

L'ensemble des informations concernant le potentiel toxique des substances retenues est reporté en **Annexe 1** de l'ARR.

2.4 Caractérisation des Relation dose-réponse

L'évaluation quantitative de la relation entre la dose (ou la concentration) et l'incidence de l'effet néfaste permet d'élaborer la **Valeur Toxicologique de Référence (VTR)**. Des VTR sont établies par diverses instances internationales ou nationales¹ à partir de l'analyse des données toxicologiques expérimentales chez l'animal et/ou des données épidémiologiques. Ces VTR sont une appellation générique regroupant tous les types d'indices toxicologiques établissant une relation quantitative entre une dose et un effet (toxiques à seuil de dose) ou entre une dose et une probabilité d'effet (toxiques sans seuil de dose).

Selon les mécanismes toxicologiques en jeu, deux grands types d'effets toxiques peuvent être distingués :

- les effets à seuil pour lesquels il existe un seuil d'exposition en dessous duquel l'effet néfaste n'est pas susceptible de se manifester ;
- les effets sans seuil pour lesquels la probabilité de survenue de l'effet néfaste croît avec l'augmentation de la dose.

La note d'information **n°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014** relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact et de la gestion des sites et sols pollués, est prise en compte pour la sélection des VTR.

Les valeurs toxicologiques de référence sont synthétisées dans le tableau en page suivante. Les relations dose-réponse des composés retenus sont détaillées en **Annexe 2** de l'ARR et discutées dans les incertitudes au **paragraphe 2.7**.

¹ IRIS US-EPA (Integrated Risk Information System; US Environmental Protection Agency).

ATSDR Toxicological Profiles (US Agency for Toxic Substances and Disease Registry).

OMS (Organisation Mondiale de la Santé).

Santé canada (Ministère Fédéral de la Santé – Canada).

RIVM (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu – Institut National de Santé Publique et de l'Environnement – Pays-Bas).

OEHH (Office of Environmental Health Hazard Assessment of California – Etats-Unis).

En France, l'ANSES (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement, du Travail) peut également produire des VTR.

Tableau 4 : Valeurs toxicologiques de référence retenues

		Effets sans seuil			Effets à seuil							
Substance	CAS N°	ERUI	TYPE CANCER	SOURCE	VTRI	ORGANE	SOURCE	SF	VTRI spécifique effet cancérogène	ORGANE	SOURCE	SF
		(µg/m ³) ⁻¹			(µg/m ³)					(µg/m ³)		
HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES												
Naphtalène	91-20-3	5.6E-06	neuroblastome de l'épité, olfactif	Anses, 2013	37	sys. Resp.	Anses, 2013	250	-	-	-	-
COMPOSES AROMATIQUES MONOCYCLIQUES												
Benzène	71-43-2	1.6E-06	leucémie	Anses, 2024	10	sang	Anses, 2008	10	-	-	-	-
Toluène	108-88-3	-	-	-	19 000	syst. Nerveux	Anses, 2017	5	-	-	-	-
Ethylbenzène	100-41-4	-	-	-	1 500	effet ototoxique	ANSES 2016	30	-	-	-	-
m+p-Xylène	1330-20-7	-	-	-	100	syst. Nerveux	US EPA 2003 retenu par Anses, 2020	300	-	-	-	-
o-Xylène	95-47-6	-	-	-	100	syst. Nerveux	US EPA 2003 retenu par Anses, 2020	300	-	-	-	-
Cumène (isopropylbenzène)	98-82-8	-	-	-	400	rein	US-EPA, 1997	1000	-	-	-	-
1,2,4-Triméthylbenzène (pseudocumène)	95-63-6	-	-	-	60	syst. nerveux	US EPA 2016	300	-	-	-	-
1,3,5-Triméthylbenzène (mesitylène)	108-67-8	-	-	-	60	syst. nerveux	US EPA 2016	300	-	-	-	-
HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH												
Aliphatic nC>5-nC6	non adéquat	-	-	-	3 000	syst. nerveux	Anses, 2014	75	-	-	-	-
Aliphatic nC>6-nC8	non adéquat	-	-	-	3 000	syst. nerveux	Anses, 2014	75	-	-	-	-
Aliphatic nC>8-nC10	non adéquat	-	-	-	1 000	syst. Hépatique	TPHCWG, 1997	1000	-	-	-	-
Aliphatic nC>10-nC12	non adéquat	-	-	-	1 000	syst. Hépatique	TPHCWG, 1997	1000	-	-	-	-
Aliphatic nC>12-nC16	non adéquat	-	-	-	1 000	syst. Hépatique	TPHCWG, 1997	1000	-	-	-	-
Aliphatic nC>16-nC35	non adéquat	-	-	-	-	-	TPHCWG & MADEP	-	-	-	-	-
Aliphatic nC>35	non adéquat	-	-	-	-	-	TPHCWG & MADEP	-	-	-	-	-
Aromatic nC>5-nC7 (benzène)	non adéquat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aromatic nC>7-nC8 (toluène)	non adéquat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aromatic nC>8-nC10	non adéquat	-	-	-	200	poids	TPHCWG, 1997	1000	-	-	-	-
Aromatic nC>10-nC12	non adéquat	-	-	-	200	poids	TPHCWG, 1997	1000	-	-	-	-
Aromatic nC>12-nC16	non adéquat	-	-	-	200	poids	TPHCWG, 1997	1000	-	-	-	-
Aromatic nC>16-nC21	non adéquat	-	-	-	-	-	TPHCWG & MADEP	-	-	-	-	-
Aromatic nC>21-nC35	non adéquat	-	-	-	-	-	TPHCWG & MADEP	-	-	-	-	-
COMPOSES ORGANO-HALOGENES VOLATILS												
Tétrachloroéthylène (PCE)	127-18-4	2.6E-07	hépatique	US-EPA, 2012 et retenu par Anses, 2018	400	neurotoxicité	Anses, 2024	30	-	-	-	-
Chloroforme (TCmA)	67-66-3	-	-	-	98	hépatique	ATSDR, 1998	100	63	cancer rénal	ANSES, 2008	100

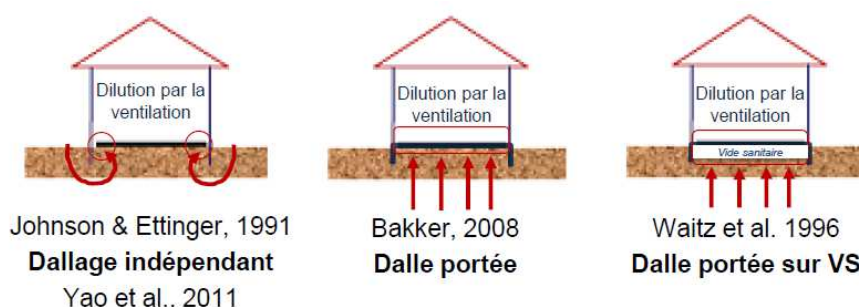
2.5 Estimation des expositions

2.5.1 Estimation des concentrations dans les différents milieux

2.5.1.1 Estimation des concentrations dans l'air intérieur

La modélisation des transferts des gaz des sols vers l'air intérieur est associée au développement d'outils datant du début des années 1990. Ces outils sont très peu nombreux, les principaux utilisés en France qui intègrent le transport diffusif et le transport convectif sont VOLASOIL¹ (Waitz *et al.*, 1996) adapté aux situations avec vide-sanitaire, le modèle dit de « *Johnson and Ettinger* »² (Johnson et Ettinger, 1991) adapté aux constructions en dallage indépendant (avec fissuration périphérique de la dalle liée au séchage) et le modèle développé par Bakker *et al.* (2008)³ pour les constructions en dalle portée ou radier (fondation et dalle d'un seul tenant, sans fissuration périphérique).

Les équations sont détaillées en **Annexe 3** de l'ARR.



Représentation schématique des différents modèles de calcul des transferts vers l'air intérieur

Etant donné le projet de construction du bâtiment sur vide-sanitaire, le modèle de VOLASOIL développé par Waitz *et al.* (1996) est retenu. Les caractéristiques de ce recouvrement (épaisseur, perméabilité, *etc.*) sont discutées dans le chapitre dédié aux incertitudes (voir **Chapitre 2.7**).

2.5.1.2 Estimation des concentrations dans l'air extérieur

Dans le cadre du projet de parvis et de stationnements aériens, la modélisation des expositions est conduite sur la base des équations de Millington et Quirk (1981), ainsi que de l'équation de Fick. La dilution par le vent est ensuite calculée dans « une boîte » de taille fixée.

En outre, la source de pollution est considérée comme infinie.

Les équations sont détaillées en **Annexe 3** de l'ARR.

Les concentrations dans l'air intérieur et extérieur ainsi obtenues, sont présentées dans les **Tableaux 8 et 9** en pages suivantes.

¹ Waitz *et al.*, 1996. The VOLASOIL risk assessment model based on CSOIL for soils contaminated with volatile compounds. M.F.W. Waitz; J.I. Freijer; F.A. Swartjes. May 1996. RIVM. Report n° 7581001.

² Johnson PC and Ettinger RA, 1991. Heuristic model for predicting the intrusion rate of contaminant vapours into buildings. Env. Sci. Technol. 25, p 1445-1452

³ Bakker *et al.* 2008 RIVM Report 711701049/2008 : Site-specific human risk assessment of soil contamination with volatile compounds

2.5.1.3 Hypothèses retenues - Paramètres liés au sol et aux aménagements

Les concentrations dans l'air intérieur et/ou l'air extérieur sont estimées à partir des concentrations mentionnées dans les **Tableau 2 et 3** en pages précédentes. Les hypothèses retenues pour la réalisation des calculs de transferts des sols vers l'air ambiant, sont rappelées dans les tableaux suivants et en **Annexe 3** de l'ARR.

Tableau 5 : Paramètres retenus liés au sol

Profondeur de la pollution	Unités	Valeurs	Sources de données	
Profondeur du toit de la source sous la base du recouvrement	m	1.0	Conformément aux mesures recommandées dans le Plan de Gestion avec par défaut, les excavation et évacuation des remblais superficiels reconnus impactés.	
Lithologie sous le bâtiment	Unités	Horizon1	Horizon2	Sources de données
Nature lithologique	m	Sables silteux	Limons silteux	Horizon 2 : selon les analyses granulométriques obtenues en 2018 (HPC) et juin 2023 (SOCOTEC) avec des textures limoneuse fine à limona-sableuse, à la fois pour les sols superficiels et plus profonds (5 échantillons analysés). Horizon 1 : texture sablo-limoneuse retenue pas défaut pour le remblai d'apport.
Epaisseur	m	0.7	0.01	Horizon 2 sources-sol consideree a 1 cm sous l'Horizon 1 de recouvrement (approche sécuritaire). Horizon 2 : conformément au Plan de Gestion (et avec un vide--sanitaire de 30 cm de hauteur)
Porosité	-	25%	35%	Utilisé au niveau de la source et pour les transferts
Teneur en eau	-	15%	22%	Utilisé au niveau de la source et pour les transferts
Perméabilité	m²	1.00E-14	1.00E-13	celui de l'horizon 2 est retenu pour les calculs Volasoil
foc	-	0.5%	0.8%	Utilisé uniquement au niveau de la source pour
Masse volumique du sol	kg/l	1.80	1.80	le calcul des concentrations dans les gaz du sol le cas échéant

Tableau 6 : Paramètres retenus liés à l'aménagement extérieur

Recouvrement de surface	Unités	Valeurs	Sources de données
Nature du recouvrement	-	Bétons	En 1ère approche pour le futur parvis
Porosité	-	0.12	Données de la littérature pour des bétons
Teneur en eau	-	0.07	
Epaisseur	m	0.10	Par défaut
Dilution par le vent	Unités	Valeurs	Sources de données
Hauteur de la zone de mélange (adulte)	m	1.5	Hauteur des voies respiratoires des cibles (1,5m pour les adultes)
Hauteur de la zone de mélange (enfant)	m	1.0	Hauteur des voies respiratoires des cibles (1 m pour les enfants)
Longueur de la zone de mélange	m	20	Correspondant à la longueur du panache de pollution sur le secteur des cuves à carburants (= longueur de la parcelle AX491)
Vitesse moyenne de vent	m/s	4.4	Vitesse moyenne du vent sur 10 min, sur la période de 1991 à 2020 (Station METEO France de Lorient Lann-Bihoué)

Tableau 7 : Paramètres retenus liés à l'aménagement intérieur

Caractéristiques du vide sanitaire	Unités	Valeurs	Sources de données
Surface	m²	9	Superficie par défaut d'un petit bureau (3 m x 3 m)
Hauteur totale (considérée au dessus du sol)	m	0.3	Par défaut (valeur usuelle)
Débit de ventilation (en moyenne journalière)	m³/h	27.0	Débit conventionnel de 3 m³/h/m² correspondant à une surface des grilles de 3 cm²/m².
Renouvellement d'air calculé	/h	10.0	En référence aux avis de bureaux de contrôle pour des vides sanitaires sans canalisation de gaz.
Paramètres nécessaires pour l'utilisation du modèle Volasoil (Waitz et al. 1996)	Unités	Valeurs	Sources de données
Différence de pression entre le sol et le vide sanitaire (dPVS)	Pa	2.00	Valeur par défaut de Volasoil
Différence de pression entre le vide sanitaire et l'air intérieur	Pa	2.00	Valeur par défaut de Volasoil
Epaisseur de la dalle entre le vide sanitaire et le lieu de vie	m	0.15	Par défaut (valeur usuelle)
Perméabilité à l'air de la dalle séparant le vide sanitaire du	m²	2.0E-13	Valeur par défaut de Bakker et al., 2008 pour une dalle de bonne
Porosité de la dalle béton	-	0.12	
Teneur en gaz du béton	-	0.05	Par défaut (valeurs usuelles)
Teneur en eau du béton	-	0.07	

Soulignons que dans une approche sécuritaire de la modélisation des transferts des polluants, le taux de transfert de 100% est considéré entre le RdC et le niveau de vie au-dessus (habitat collectif).

2.5.1.4 Concentrations dans l'air intérieur et l'air extérieur

Les tableaux suivants présentent les concentrations estimées en air extérieur et en air intérieur.

Tableau 8 : Concentrations calculées dans l'air extérieur

Substances	AIR EXTERIEUR			Concentrations calculées dans l'air extérieur	
	(µg/m³)	(µg/m³)	(µg/m³)	Avec recouvrement	
				Adultes	Enfants
	Bruit de fond OQAI (P90 ; 2007) ou urbain (INERIS, 2009)	Valeurs réglementaires - décret n°2010-1250 (valeur limite / valeur cible)	Valeurs guide de l'OMS (màj 2021)	Air extérieur (µg/m³)	Air extérieur (µg/m³)
HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES					
Naphtalène	0.009	-	-	1E-03	2E-03
COMPOSES AROMATIQUES MONOCYCLIQUES					
benzène	2.2	5	1.7	5E-01	7E-01
toluène	9	-	-	9E-01	1.4
ethylbenzène	2.1	-	-	1E-01	2E-01
M-p-Xylène	5.6	-	-	3E-01	4E-01
o-Xylène	2.3	-	-	1E-01	2E-01
cumène (isopropylbenzène)	-	-	-	3E-02	4E-02
1,2,4 Triméthylbenzène(pseudocumène)	3.3	-	-	6E-02	9E-02
1,3,5 Triméthylbenzène (mesitylène)	-	-	-	2E-02	3E-02
HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH					
Aliphatic nC>5-nC6	-	-	-	25.3	38.0
Aliphatic nC>6-nC8	-	-	-	18.5	27.7
Aliphatic nC>8-nC10	-	-	-	5E-01	7E-01
Aliphatic nC>10-nC12	9.8	-	-	2E-02	3E-02
Aliphatic nC>12-nC16	-	-	-	0.00	0.00
Aliphatic nC>16-nC35	-	-	-	0.00	0.00
Aliphatic nC>35	-	-	-	0.00	0.00
Aromatic nC>5-nC7 (benzène)	voir benzène	voir benzène	voir benzène	0.00	0.00
Aromatic nC>7-nC8 (toluène)	voir toluène	voir toluène	voir toluène	0.00	0.00
Aromatic nC>8-nC10	-	-	-	4E-01	6E-01
Aromatic nC>10-nC12	-	-	-	6E-02	1E-01
Aromatic nC>12-nC16	-	-	-	4E-04	6E-04
Aromatic nC>16-nC21	-	-	-	0.00	0.00
Aromatic nC>21-nC35	-	-	-	5E-09	7E-09
COMPOSES ORGANO-HALOGENES VOLATILS					
tétrachloroéthylène (PCE)	2.4	-	250	2E-06	2E-06
chloroforme (TCmA)	-	-	-	7E-06	1E-05

Modélisée à partir des teneurs « résiduelles » mesurées dans les sols en-deçà de 1 de m de profondeur (projet de parvis et de stationnement aérien), ainsi que des teneurs analysées dans les gaz du sol, la qualité de l'air ambiant extérieur présente des teneurs calculées inférieures aux valeurs de bruit de fond, guides ou réglementaires.

Tableau 9 : Concentrations calculées dans l'air intérieur

Substances	AIR INTERIEUR				Concentrations calculées dans l'air intérieur	
	(µg/m³)	(µg/m³)	(µg/m³)	(µg/m³)	Volasoil	
	Bruit de fond logement (P90 - source OQAI)	Valeur réglementaire - Décret n°2011-1727	VGAI ANSES , VRAI HCSP, INDEX, VG OMS	Seuil R1 "établissements sensibles"	Air du vide sanitaire (µg/m³)	Air intérieur des lieux de vie (µg/m³)
HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES						
Naphtalène	-	-	10	10	2.09	0.001
COMPOSES AROMATIQUES MONOCYCLIQUES						
Toluène	46.9	-	20000	20000	7.44	0.004
Ethylbenzène	7.5	-	1500	1500	5.93	0.003
m-p-Xylène	22	-	200	100	17.9	0.009
o-Xylène	8.1	-	200	100	6.35	0.003
Cumène (isopropylbenzène)	-	-	-	-	48.3	0.02
1,2,4-Triméthylbenzène(pseudocumène)	13.7	-	-	-	101	0.05
1,3,5-Triméthylbenzène (mesitylène)	-	-	-	-	34.4	0.02
HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH						
Aliphatique nC>5-nC6	-	-	-	18000	18326	9.03
Aliphatique nC>6-nC8	-	-	-	18000	13387	6.6
Aliphatique nC>8-nC10	-	-	-	1000	360	0.18
Aliphatique nC>10-nC12	62.7	-	-	1000	15.9	0.008
Aliphatique nC>12-nC16	-	-	-	1000	0	0
Aliphatique nC>16-nC35	-	-	-	-	0	0
Aliphatique nC>35	-	-	-	-	0	0
Aromatique nC>5-nC7 (benzène)	voir benzène	voir benzène	voir benzène	voir benzène	0	0
Aromatique nC>7-nC8 (toluène)	voir toluène	voir toluène	voir toluène	voir toluène	0	0
Aromatique nC>8-nC10	-	-	-	200	228	0.11
Aromatique nC>10-nC12	-	-	-	200	46.3	0.02
Aromatique nC>12-nC16	-	-	-	200	2.9E-01	1.0E-04
Aromatique nC>16-nC21	-	-	-	-	0	0
Aromatique nC>21-nC35	-	-	-	-	7.0E-06	3.0E-09
COMPOSES ORGANO-HALOGENES VOLATILS						
Tétrachloroéthylène (PCE)	5.2	-	40	250	1.0E-03	5.0E-07
Chloroforme (TCMA)	-	-	-	63	5.0E-03	3.0E-06

Modélisée à partir des objectifs de réhabilitation dans les sols, ainsi que des teneurs analysées dans les gaz du sol, la qualité de l'air ambiant intérieur (en RdC et à l'étage, avec taux de transfert de 100% entre les niveaux (majorant)) présente des teneurs calculées globalement inférieures aux valeurs de bruit de fond, guides/repères ou réglementaires, ou aux seuils R1 établis par l'INERIS (fév.2023) pour les établissements recevant du public sensible.

Dans l'air du vide-sanitaire, le pseudocumène présente une teneur modélisée légèrement supérieure à la valeur de bruit de fond pour les logements (Percentile 90 établi par l'OQAI en 2007). De plus, certaines fractions des TPH présentent des teneurs modélisées dans le vide-sanitaire légèrement supérieures aux seuils R1 établis par l'INERIS (fév.2023) pour les établissements recevant du public sensible.

Notons que dans le cas d'un vide-sanitaire faiblement ventilé (ou non ventilé), les concentrations dans le vide-sanitaire sont modélisées inférieures (naphtalène, TEX, COHV) ou de même ordre de grandeur (TPH) par rapport à celles mesurées dans les gaz du sol (piézairs A1 à A3, en février 2018 et juin 2023).

En outre, les concentrations modélisées en air extérieur (cf. Tableau 8 en page précédente) sont inférieures d'un ordre de grandeur par rapport à celles en air intérieur.

2.5.2 Estimation des expositions

2.5.2.1 Exposition par inhalation

Le calcul de la concentration moyenne inhalée est réalisé avec l'équation générique suivante (guide EDR du Ministère en charge de l'environnement/BRGM/INERIS, version 2000) :

$$C_{lj} = [C_j \times t_j \times T \times F / T_m]$$

avec :
 C_{lj} : concentration moyenne inhalée du composé j (en mg/m³).
 C_j : concentration du composé j dans l'air inhalé (mg/m³).
 T : durée d'exposition (années).
 F : fréquence d'exposition : nombre de jours d'exposition par an (jours/an).
 t_j : fraction du temps d'exposition à la concentration C_j pendant une journée (-)
 T_m : période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (jours).

Les concentrations moyennes inhalées sont calculées à partir des concentrations calculées dans l'air ambiant en intérieur et en extérieur (cf. **Tableaux 8 et 9**). Le détail des autres paramètres est donné en **Annexe 3**.

Le détail des calculs est donné en **Annexe 4** de l'ARR.

2.5.2.2 Budget espace-temps (BET)

Le budget espace-temps des cibles considérées est présenté dans le tableau suivant.

Tableau 10 : Budget espace/temps retenu

Scénario	Cibles			Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée
	Travailleurs	Adulte résident	Enfant résident	
Usagers de passage (projet de parvis et stationnement aérien)	/	T = 40 ans 330 jours par an 2 h/jour en extérieur	T = 6 ans 330 jours par an 2 h/jour en extérieur	- 70 ans (correspondant à la durée de vie considérée par l'ensemble des organismes nationaux et internationaux pour l'établissement de valeurs toxicologiques et l'évaluation des risques) pour les effets cancérogènes quelle que soit la cible considérée ;
Immeuble sur vide-sanitaire	T = 44 ans 220 jours par an 9 h/jour à l'étage (lieu de vie)	T = 40 ans 330 jours par an 23,6 h/jour à l'étage (lieu de vie)	T = 6 ans 330 jours par an 23,6 h/jour à l'étage (lieu de vie)	- T (correspondant à durée d'exposition) pour les effets toxiques non cancérogènes quelle que soit la cible considérée.

Les données utilisées sont issues de la synthèse des travaux du département santé environnement de l'institut de veille sanitaire sur les variables humaines d'exposition¹ de l'Exposure Factor Handbook (US-EPA, EFH, 1997 et 2001), et de la réglementation du travail en France.

Pour les durées d'exposition dans le contexte du travail, le cas le plus défavorable a été considéré pour les adultes qui travailleraient pendant 44 ans au même endroit (correspondant à la durée totale de la période de travail) ; cependant la variabilité de cette durée d'exposition est importante. Les durées de 220 jours/an et 9 h/jour correspondent aux durées « classiques » du travail en France.

Pour les durées d'exposition dans le contexte de l'habitat, nous considérons une durée de 40 années (6 années pour les enfants). Elle correspond au centile 98 des valeurs présentées par l'US-EPA (EFH, 1997). Cette durée est également retenue pour l'éventuel projet de parvis et de stationnement aérien.

Pour les fréquences d'exposition de l'habitat, nous retenons le percentile 95 des données présentées dans la synthèse de l'INVS sur les variables humaines d'exposition. Sur la base des données collectées dans le cadre de la Campagne nationale de logements (CNL) menée entre 2003 et 2005 sur 567 résidences principales, ce document indique que le percentile 95 du temps passé à l'intérieur du logement toutes tranches d'âge confondues est de 23,6 h/jour. Pour le temps passé dans le garage attenant, le percentile 95 est de 0,2 h/jour (0,4 h/jour retenu pour l'exposition dans le parking en RdC).

¹ Demeureaux C, Zeghnoun A. Synthèse des travaux du département santé environnement de l'institut de veille sanitaire sur les variables humaines d'exposition. Saint Maurice : Institut de veille sanitaire ; 2012. 28p.

Pour les fréquences d'exposition journalière des usagers de passage (éventuel projet de parvis et stationnement aérien), nous retenons la durée de 2 h/jour en extérieur correspondant à une fréquentation jugée assidue du parvis.

2.6 Quantification des risques sanitaires

2.6.1 Méthodologie

2.6.1.1 Estimation du risque pour les effets toxiques sans seuil

Pour les effets toxiques sans seuil, et pour des faibles expositions, l'excès de risque individuel (ERI) est calculé de la façon suivante :

$$\text{ERI (inhalation)} = \text{CI} \times \text{ERUI}$$

Les ERI s'expriment sous la forme mathématique 10^{-n} . Par exemple, un excès de risque de 10^{-5} présente la probabilité supplémentaire, par rapport à une personne non exposée, de développer un cancer pour 100 000 personnes exposées durant la vie entière.

Pour le scénario d'exposition, un ERI global est ensuite calculé en faisant :

- pour chaque composé, la somme des risques liés à chacune des voies d'exposition ;
- la somme des risques liés à chacun des composés cancérogènes.

Il n'existe pas de niveau d'excès de risque individuel universellement acceptable. Les documents du ministère en charge de l'environnement de février 2007, confirmés par ceux de 2017, relatifs aux sites et sols pollués et aux modalités de gestion et de réaménagement des sites pollués, considèrent que le niveau de risque « *usuellement [retenue] au niveau international par les organismes en charge de la protection de la santé* », de 10^{-5} est acceptable.

En cas d'exposition conjointe à plusieurs agents dangereux, l'Environmental Protection Agency des Etats-Unis (US-EPA) recommande de sommer l'ensemble des excès de risque individuels (ERI), quels que soient le type de cancer et l'organe touché, de manière à apprécier le risque cancérigène global qui pèse sur la population exposée.

2.6.1.2 Estimation du risque pour les effets toxiques à seuil

Pour les effets toxiques à seuil, un quotient de danger (QD) est défini pour chaque voie d'exposition de la manière suivante :

$$QD_{i,INH} = \frac{CI_{i,INH}}{RfCi}$$

Un QD inférieur ou égal à 1 signifie que l'exposition de la population n'atteint pas le seuil de dose à partir duquel peuvent apparaître des effets indésirables pour la santé humaine. A l'inverse, un ratio supérieur à 1 signifie que l'effet toxique peut se déclarer dans la population, sans qu'il soit possible d'estimer la probabilité de survenue de cet événement.

En l'absence de doctrine unique sur l'additivité des risques et compte tenu de la méconnaissance à l'heure actuelle des mécanismes d'action pour la majorité des substances, nous procéderons à l'additivité des quotients de danger **en premier niveau d'approche**.

2.6.2 Quantification des risques sanitaires au droit du site

Les quotients de danger et excès de risques individuels liés aux différentes expositions ont été calculés à partir des valeurs toxicologiques (**Tableau 4**) et des niveaux d'exposition estimés au paragraphe précédent. Le détail des calculs est donné en **Annexe 4** de l'ARR.

La méthodologie adoptée est celle préconisée par les circulaires ministérielles de février 2007 reprise dans les textes d'avril 2017. L'évaluation du risque concerne l'ensemble des substances pour lesquelles on considérera ici l'additivité des risques.

Tableau 11 : Synthèse des QD et ERI pour le scénario « Parvis et stationnement aérien »

	Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)			Effets toxiques à seuil cancérigènes Quotient de danger spécifique (QD)			Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)		
	Adulte de passage	Enfant de passage	Composés tirant le risque	Adulte de passage	Enfant de passage	Composés tirant le risque	Adulte de passage	Enfant de passage	Composés tirant le risque
INHALATION air extérieur avec recouvrement	3.38E-08	7.62E-09	benzène	8.8E-09	1.3E-08	chloroforme (TCmA)	0.005	0.008	benzène
TOTAL	3.4E-08	7.6E-09	-	8.8E-09	1.3E-08	-	0.005	0.008	-

Tableau 12 : Synthèse des QD et ERI pour le scénario « Habitat collectif à l'étage »

	Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)				Effets toxiques à seuil cancérigènes Quotient de danger spécifique (QD)				Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)			
	Adulte Travailleur	Adulte résident	Enfant résident	Composés tirant le risque	Adulte Travailleur	Adulte résident	Enfant résident	Composés tirant le risque	Adulte Travailleur	Adulte résident	Enfant résident	Composés tirant le risque
INHALATION air intérieur dans le lieu de vie Volasol	7.96E-10	2.84E-09	4.27E-10	Naphtalène	1.1E-08	4.2E-08	4.2E-08	Chloroforme (TCmA)	0.002	0.007	0.007	Aliphatic nC>5-nC6
TOTAL	8.0E-10	2.8E-09	4.3E-10	-	1.1E-08	4.2E-08	4.2E-08	-	0.002	0.007	0.007	-

Dans le cadre de la mission qui nous a été confiée par l'EPF BRETAGNE, avec les conditions d'études retenues et en l'état actuel des connaissances scientifiques, les niveaux de risques estimés sont inférieurs aux critères d'acceptabilité tels que définis par la politique nationale de gestion des sites pollués.

Ainsi, l'état environnemental du site **dans le cadre du Plan de Gestion** (prise en compte des objectifs de réhabilitation et confinement par couverture de la pollution résiduelles (construction sur vide-sanitaire avec dallage imperméable et matériaux sains de minimum 1 m d'épaisseur)), est compatible avec les usages projetés de commerces/bureaux/stationnement en RdC et d'habitat collectif aux étages, voire celui de parvis associé à du stationnement aérien.

2.7 Analyse des incertitudes

L'analyse des incertitudes d'une évaluation des risques et la sensibilité des paramètres retenus pour cette évaluation est une partie intégrante d'un calcul de risque sanitaire.

Afin de ne pas alourdir cette analyse les paramètres clés de l'évaluation réalisée sont ici discutés, ainsi que leurs incidences sur les résultats de l'évaluation. Ces paramètres clés sont dépendants du scénario d'exposition et des substances retenues.

Tableau 13 : Variables générant les incertitudes majeures de l'évaluation

Variable	Voie d'exposition touchée	Poids dans l'évaluation	Approche retenue																
			Non prise en compte de l'exposition au bruit de fond																
Bruit de fond	Inhalation de polluants gazeux	Faible	Dans la mesure où le bruit de fond et ses incidences sanitaires n'ont pas à ce jour fait l'objet d'une procédure de gestion nationale, la présente étude a été menée en ne considérant que la compatibilité vis-à-vis des composés présents en concentrations supérieures au bruit de fond sur le site. Cette pratique correspond à ce qui est couramment réalisé dans ce type d'étude. Cependant, il faut rappeler que la présence potentielle de composés organiques volatils (benzène, solvants, etc.) ou de poussières dans l'air atmosphérique de certaines agglomérations (suivis parfois par les réseaux de surveillance de la qualité de l'air), non liée au site, n'est pas prise en compte.																
			Choix et caractéristiques des composés																
Nature des composés et concentrations retenues	Inhalation de polluants gazeux	Fort	Sécuritaire : prise en compte des objectifs de réhabilitation définis pour les sols, et à défaut, aux composés quantifiés dans les sols ou gaz du sol (teneurs maximales), lors des investigations menées en 2016, 2018 et juin 2023 (HPC et SOCOTEC). Notons que pour le projet de parvis/stationnement aérien, les concentrations maximales mesurées dans les sols, à partir de 1 m de profondeur, sont retenues par défaut pour la modélisation du transfert. La prise en compte des limites analytiques de quantification dans les gaz du sol, en l'absence de valeur de référence pour les substances non quantifiées, induit des excès de risques individuels ERI légèrement supérieurs (ordres de grandeur inchangés ; Quotient de danger QD inchangés) mais restant acceptables pour l'exposition en intérieur ou en extérieur.																
Cas des hydrocarbures	Inhalation de polluants gazeux	Fort	Réaliste à majorant : prise en compte de l'objectif de réhabilitation définis pour l'indice C ₁₀ -C ₄₀ (500 mg/kg), ainsi que de la répartition des fractions hydrocarbonées analysées sur l'échantillon A1 (1,0-1,5) et considérée représentative de l'impact sur le secteur des anciennes cuves à carburants (prédominance de la fraction C6-C8 et de la forme aliphatique des hydrocarbures (également constatée sur les analyses des gaz du sol)). De plus, il est pris en compte de l'objectif de réhabilitation pour le benzène (<LQ) et les TEX (6 mg/kg) dont la répartition correspond à celle de l'échantillon A1 (1,0-1,5). Il s'agit d'une approche réaliste à sécuritaire de l'ARR (hydrocarbures considérés particulièrement volatils sur l'échantillon A1 (1,0-1,5)). L'hypothèse de modélisations à partir des répartitions TPH et TEX obtenues sur l'échantillon C7/3(2-3) (avec 72,4 mg/kg en TEX et 1 290 mg/kg en TPH) ou sur l'échantillon S1(2,8-3,4) (180,3 mg/kg en BTEX), induit des niveaux de risque légèrement inférieurs (de même ordre de grandeur). L'incertitude sur la nature des hydrocarbures dans les sols ne modifie donc pas les conclusions de l'ARR. Pour le projet de parvis/stationnement aérien, l'hypothèse d'une modélisation avec la teneur maximale obtenue en indice C ₁₀ -C ₄₀ dans les sols (4 070 mg/kg sur le sondage C6) induit des Quotients de Danger inférieurs de 2 ordres de grandeur).																
Cas du mercure	Inhalation de polluants gazeux	Faible	Etant donné le contexte de l'étude (ancienne station-service et atelier mécanique), le mercure a été considéré non gazeux (particulaire) en 1 ^{ère} approche. Majorante : L'hypothèse d'une forme totalement volatile du mercure analysé dans les sols (teneur maximale relevée sur l'échantillon C2/1 avec 0,44 mg/kg) ne modifie pas les niveaux de risque. L'incertitude sur la nature volatile/gazeux du mercure analysé dans les sols ne modifie donc pas les conclusions de l'ARR.																
Valeurs Toxicologiques de référence	Toutes	Fort à faible	Les VTR ont été retenues conformément à la note d'information N°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact et de la gestion des sites et sols pollués.																
Cumul des QD et des ERI	Toutes	Fort	Il convient de rappeler la limite méthodologique des évaluations de risques sanitaires lorsque plusieurs substances peuvent avoir entre elles des effets synergiques ou antagonistes. A l'heure actuelle, les éléments qui permettraient de déterminer si les effets se cumulent ou non ne sont pas disponibles et il n'y a pas de consensus sur une méthode pour prendre en compte les effets de mélanges. <table><tr><td></td><td>Somme</td><td>Justification</td><td>Consensus</td></tr><tr><td>ERI</td><td>Oui quels que soient les organes cibles, les types de cancer et les voies d'exposition</td><td>On parle de cancer en général quelle que soit la cause ou le mécanisme</td><td>Oui, internationaux</td></tr><tr><td>QD</td><td>discutable</td><td>Approche par organe cible</td><td>Proche des consensus nationaux et internationaux</td></tr><tr><td>Si SQD>1</td><td>Faire la somme par organe cible</td><td>-</td><td>-</td></tr></table>		Somme	Justification	Consensus	ERI	Oui quels que soient les organes cibles, les types de cancer et les voies d'exposition	On parle de cancer en général quelle que soit la cause ou le mécanisme	Oui, internationaux	QD	discutable	Approche par organe cible	Proche des consensus nationaux et internationaux	Si SQD>1	Faire la somme par organe cible	-	-
	Somme	Justification	Consensus																
ERI	Oui quels que soient les organes cibles, les types de cancer et les voies d'exposition	On parle de cancer en général quelle que soit la cause ou le mécanisme	Oui, internationaux																
QD	discutable	Approche par organe cible	Proche des consensus nationaux et internationaux																
Si SQD>1	Faire la somme par organe cible	-	-																
			Caractéristiques des sources de pollution et concentrations dans les différents milieux																
Source « sol »	Inhalation de polluants gazeux	Fort	Sécuritaire : pour le projet initial de logements collectifs, prise en compte des objectifs de réhabilitation établis dans le Plan de Gestion du site. Pour le projet de parvis et stationnement aérien, prise en compte des teneurs « résiduelles » mesurées dans les sols. Compte tenu du schéma d'exposition (avec uniquement l'inhalation de polluants gazeux), les métaux, les HAP (excepté le naphtalène) et PCB, n'ont pas été retenus dans la modélisation. Notons que les teneurs en PCB (7 congénères) sont toutes relevées inférieures à la limite de quantification. L'hypothèse d'une modélisation avec en sus, les teneurs obtenues dans les sols en HAP (excepté le naphtalène), n'induit aucune variation des niveaux de risque. L'incertitude sur la prise en compte ou non des traces en polluants organiques relevés dans les sols, ne modifie donc pas les conclusions de l'ARR.																
Source « gaz du sol »	Inhalation de polluants gazeux	Faible	Sécuritaire : prise en compte des concentrations obtenues dans les gaz du sol pour les substances ne présentant pas d'objectif de réhabilitation. Pour ces substances (PCE et chloroforme), les résultats les plus pénalisants ont été retenus avec les teneurs maximales mesurées sur les piézairs A1 et A2 et les subsolabs GDS1 et GDS2 (campagnes de février 2018 et/ou juin 2023). Notons que ces 2 campagnes de février 2018 et/ou juin 2023, permettent d'intégrer en partie la variabilité saisonnière des teneurs dans les gaz du sol. L'hypothèse d'une modélisation à partir des teneurs maximales mesurées dans les gaz du sol et pour l'ensemble des polluants analysés, induit des niveaux de risque inférieurs (ERI de 10 ⁻¹⁰ -10 ⁻¹¹ et QD de 9. 10 ⁻⁵). Ainsi, l'incertitude sur la prise en compte de l'ensemble des teneurs mesurées dans les gaz du sol, ne modifie pas les conclusions de l'ARR.																
Source « nappe »	Inhalation de polluants gazeux	Faible	Réaliste : prise en compte des teneurs obtenues dans les gaz du sol (milieu considéré intégrateur de la qualité environnementale du terrain), à l'exception des objectifs de réhabilitation retenues dans les sols (en TPH et BTEX). La modélisation de l'exposition en intégrant les teneurs maximales obtenues dans les eaux souterraines (lors des campagnes de février 2018 et juin 2023 avec : 1,26 mg/L en indice C ₁₀ -C ₄₀ , 16,7 mg/L en HC C5-C10, 0,11 mg/L en naphtalène, 17,4 mg/L en BTEX ; 13,1 µg/L en cis-1,2-DCE ; 4,03 µg/L en CV ; 133 µg/L en dichlorométhane) induit des QD inférieurs et des ERI supérieurs de 1 ordre de grandeur, mais restant acceptables pour l'usage futur de logements collectifs aux étages. L'incertitude sur la prise en compte ou non de la qualité dégradée des eaux souterraines, ne modifie donc pas les conclusions de l'ARR.																
Profondeur de la source	Toutes	Fort	Réaliste : Prise en compte d'une source dans les sols (objectifs de réhabilitation) ou dans les gaz du sol (piézairs) à une profondeur de 1 m en-deçà le futur dallage (0,7 m sous la base du vide-sanitaire de 0,3 m de hauteur), conformément aux mesures adoptées dans le Plan de Gestion. La modélisation de l'exposition avec une profondeur de source de seulement 0,1 m de profondeur sous la base du vide-sanitaire (), induit des niveaux de risque sanitaire supérieurs et restant de même ordres de grandeur (ERI atteignant 2,0.10 ⁻⁰⁸ et QD de 0,04 pour les résidents). L'incertitude sur la profondeur de la source-sol ne modifierait donc pas les conclusions de l'ARR. En outre, le modèle considéré ne tient pas compte de l'évolution de la source de pollution et des flux en fonction du temps (source infinie).																
			Caractéristiques des sols																
Lithologie	Toutes	Fort	Réaliste : Limons fins des sols profonds et selon les analyses granulométriques disponibles (sur la tranche 1-2 m de profondeur). Conformément au Plan de Gestion, l'apport d'une couche de remblaiement ou couche de forme pour l'aménagements futur, a également été retenue sur une épaisseur de 1 m et avec une texture sablo silteuse (0,7 m sous la base du vide-sanitaire). Notons que le compactage de cette couche n'a pas été prise en compte (approche majorante). Aussi, l'hypothèse majorante d'une texture sableuse des remblais devant surmonter la source-sols, induit des niveaux de risque supérieurs (ERI atteignant 2,8.10 ⁻⁰⁸ et QD de 0,06 pour les résidents), mais restant acceptables. L'incertitude sur la texture du remblai d'apport surmontant la source-sol, ne modifie pas les conclusions de l'ARR.																
Perméabilité, porosité	Toutes	Fort	Sécuritaire : En l'absence de mesures sur site, ces paramètres sont issus par défaut de la banque de données du logiciel RISC 4.0.																

Variable	Voie d'exposition touchée	Poids dans l'évaluation	Approche retenue																
Fraction de carbone organique	Toutes	Moyen	Sécuritaire : La fraction de carbone organique dans les sols au niveau de la source de pollution prise en compte est de 0,8 % (elle correspond aux terrains limoneux fins). La foc dans les remblais d'apport sablo silteux est de 0,5 %. Ces valeurs sont issues de la base de données du logiciel RISC 4.0.																
			Paramètres d'aménagement																
Couverture de sol en extérieur	Inhalation de polluants gazeux en extérieur	Faible	Sécuritaire/Réaliste : Rappelons qu'au droit d'éventuels parvis et stationnements aériens, le recouvrement pérenne des sols en place est prévu (voie orale d'exposition supprimée). Les recouvrements de sols présentent les caractéristiques suivantes : <table><tr><td></td><td>Gamme enrobé asphalté (hors enrobé poreux)</td><td>Béton (retenu en 1^{ère} approche)</td><td>Sols limoneux (pour mémoire)</td></tr><tr><td>porosité</td><td>3%</td><td>12%</td><td>30%</td></tr><tr><td>teneur en gaz</td><td>3%</td><td>5%</td><td>12%</td></tr><tr><td>teneur en eau</td><td>0%</td><td>7%</td><td>18%</td></tr></table> <p>La prise en compte d'un recouvrement de type enrobé induit des niveaux de risque légèrement supérieurs. L'incertitude sur la nature et l'épaisseur du recouvrement des sols en place, notamment au droit du futur parvis, n'est donc pas de nature à modifier les conclusions de la présente ARR.</p>		Gamme enrobé asphalté (hors enrobé poreux)	Béton (retenu en 1 ^{ère} approche)	Sols limoneux (pour mémoire)	porosité	3%	12%	30%	teneur en gaz	3%	5%	12%	teneur en eau	0%	7%	18%
	Gamme enrobé asphalté (hors enrobé poreux)	Béton (retenu en 1 ^{ère} approche)	Sols limoneux (pour mémoire)																
porosité	3%	12%	30%																
teneur en gaz	3%	5%	12%																
teneur en eau	0%	7%	18%																
Mode constructif et hauteur de vide-sanitaire	Inhalation de polluants gazeux en intérieur	Fort	Réaliste : au regard du projet, une construction sur vide-sanitaire a été modélisée à l'aide du modèle VOLASOIL® de Waitz <i>et al.</i> (1996). Le projet d'aménagement induisant la création d'une nouvelle dalle, une qualité « <i>bonne</i> » de dalle a été retenue par défaut (perméabilité de dalle estimée à 2.10 ⁻¹³ cm²). La hauteur du vide-sanitaire est retenue par défaut à 30 cm. Aussi, l'hypothèse d'une hauteur plus de vide-sanitaire (10 cm) ne modifie pas les niveaux de risque modélisés, modifie pas la conclusion de l'ARR.																
Vieillessement du bâtiment, des systèmes et équipements	Inhalation de polluants gazeux en intérieur	Faible	Réaliste à sécuritaire : prise en compte d'une « <i>bonne</i> » qualité de dalle avec une perméabilité à l'air de 2.10 ⁻¹³ m² (Waitz <i>et al.</i> , 1996), étant le projet de construction d'une nouvelle dalle de vide-sanitaire. L'hypothèse d'une qualité moindre de la dalle (« <i>normale</i> » et impliquant des perméabilités de 2.10 ⁻¹¹ m²), induit des niveaux de risque inchangés ou légèrement supérieurs (ERI de 5,6.10 ⁻⁰⁸ et QD atteignant 0,43), et restant inférieurs aux seuils considérés inacceptables. L'incertitude sur la qualité de la dalle bétonnée ne serait pas de nature à modifier les conclusions de la présente ARR. Aussi, le vieillissement du bâtiment ne peut être anticipé dans la présente ARR. La défaillance de la ventilation (réduction des débits) en lien avec des défauts d'entretien et de maintenance pourrait conduire à augmenter les concentrations dans l'air intérieur. Ainsi, il est recommandé d'inscrire dans les documents supports de l'exploitation cet enjeu (carnet de vie, carnet d'entretien), afin que les futurs exploitants mettent en œuvre l'entretien et la maintenance nécessaire. Le vieillissement de la dalle interface entre le sol et l'air intérieur devra être limité (fissuration) et les points singuliers de passage de la dalle (réseaux par exemple) devront être étanchés. Cet enjeu doit être considéré pour les structures en place et devant être réhabilitées (réfection des dallages), et/ou lors de la conception et de la construction.																
Renouvellement de l'air du vide-sanitaire	Inhalation de polluants gazeux en intérieur	Fort	Sécuritaire : Débit conventionnel de 3 m³/h/m² correspondant à une surface des grilles de 3 cm²/m² (Avis de bureaux de contrôle pour des vides-sanitaires sans canalisation de gaz) avec une superficie de vide-sanitaire de seulement 9 m² (correspondant à la superficie du lieu de vie). Aussi, l'hypothèse d'un débit trois fois plus faible (1 m³/h/m², soit 9 m³/h pour une superficie de 9 m²) induit des niveaux de risque supérieurs de 1 ordre de grandeur, mais restant largement acceptables. L'incertitude sur le taux de ventilation du vide-sanitaire ne modifie pas la conclusion de l'ARR.																
Renouvellement de l'air intérieur (RdC)	Inhalation de polluants gazeux en intérieur	Fort	Réaliste à sécuritaire : dans le futur RdC destiné au bureau/commerce/parking, prise en compte d'une ventilation de type VMC double flux auto-réglable avec un renouvellement d'air de 0,5 h-1 (= 12 j-1) correspondant à une ventilation de bureaux ou locaux sans travail physique.																
Abattement des teneurs entre le RdC et les étages	Inhalation de polluants gazeux en intérieur	Fort	Réaliste à sécuritaire : dans la future résidence, absence de facteur d'abattement entre les concentrations de polluants calculées en RdC et celles à l'étage. Il s'agit d'une approche communément adoptée entre les étages de petits immeubles, et présentant des usages similaires ou de commerces/bureaux en RdC (pas seulement du parking).																
Taille et caractéristique du bâtiment et du dallage	Inhalation de polluants gazeux en intérieur	Faible	Sécuritaire : prise en compte de la taille d'un petit bureau/commerce en RdC (pièce de 3 par 3 m, ainsi qu'une hauteur de 2,2 m sous plafond). La variation de la taille du RdC (avec une pièce de 4 x 4 m correspondant à un local de partie commune (local vélos, <i>etc.</i>)) ne modifie pas les conclusions en termes d'acceptabilité des risques (QD et ERI inférieurs de 1 ordres de grandeur). Sécuritaire : l'épaisseur de la dalle bétonnée est retenue à 15 cm. La variation de l'épaisseur de dalle (+/- 10 cm) ne modifie pas les conclusions en termes d'acceptabilité des risques (QD et ERI de même ordre de grandeur).																
Durée d'exposition	Inhalation en extérieur	Faible	Sécuritaire : dans le cas d'une durée d'exposition plus grande (+ 2 h en extérieur pour le projet de parvis ou en intérieur pour les travailleurs en RdC), les niveaux de risque sanitaire deviennent supérieurs (ordres de grandeur inchangés), mais restent acceptables.																

3. Conclusion de l'ARR

3.1 Conclusion sur les incertitudes et la sensibilité de l'ARR

Plusieurs facteurs engendrent des incertitudes sur les risques évalués. Pour la majorité des facteurs engendrant ces incertitudes, l'approche adoptée a été « *sécuritaire* » notamment par l'utilisation des hypothèses suivantes :

- la prise en compte des objectifs de réhabilitation dans les sols, et à défaut, des concentrations maximales mesurées dans les sols « *résiduels* » et/ou dans les gaz du sol (à partir des investigations de 2016, 2018 et juin 2023 (HPC Envirotec et SOCOTEC)) ;
- la taille et les caractéristiques du futur bâtiment (notamment du vide-sanitaire) et des futurs dallages ;
- les durées d'exposition en extérieur (éventuel projet de parvis), ou dans les bureaux/commerces en RdC et les logements aux étages.

Pour la majorité de ces paramètres, les connaissances actuelles ne permettent pas de réduire ces incertitudes.

3.2 Conclusion de l'ARR

Réalisée dans le cadre du Plan de Gestion des pollutions et pour l'EPF BRETAGNE, cette ARR tient compte de l'exposition des futurs usagers au droit de l'ancien er mécanique localisé au 69, rue de Pont-Aven (Kervidanou) à Quimperlé (29).

Avec les conditions d'études retenues et en l'état actuel des connaissances scientifiques, les niveaux de risque estimés sont inférieurs aux critères d'acceptabilité tels que définis par la politique nationale de gestion des sites pollués.

Ainsi, l'état environnemental du site **dans le cadre du Plan de Gestion** (prise en compte des objectifs de réhabilitation et du confinement par couverture de la pollution résiduelle (construction sur vide-sanitaire avec dallage imperméable et matériaux sains de minimum 1 m d'épaisseur)), est compatible avec les usages projetés de bureaux/commerces/stationnement en RdC (sur vide-sanitaire) et de logement collectif aux étages, voire celui de parvis associé à du stationnement aérien.

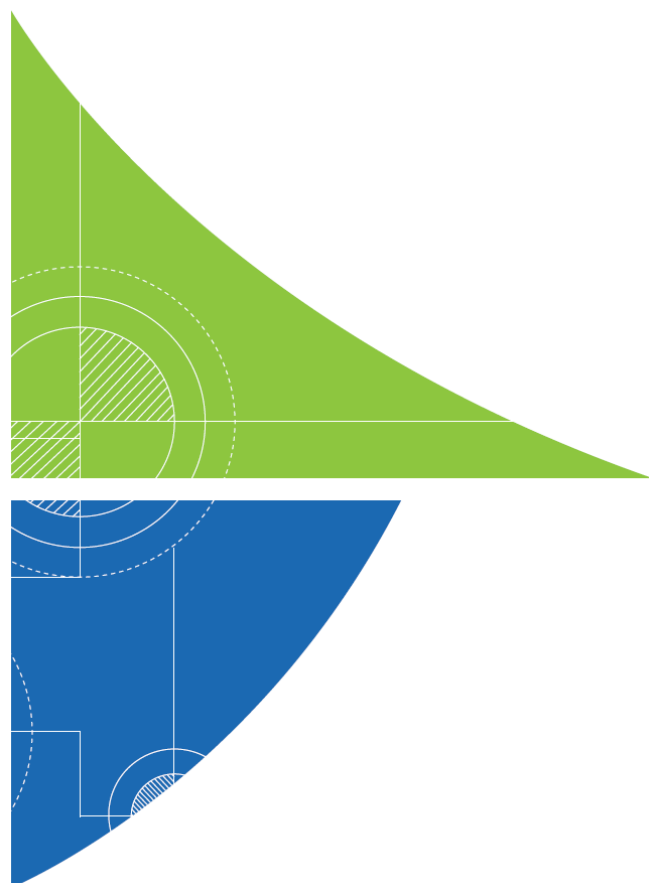
Soulignons que cette conclusion sur la compatibilité de l'état des milieux avec les usages futurs, n'est valable que dans le cadre de la gestion des pollutions (*cf.* Plan de Gestion), et devant prévoir notamment :

- selon le scénario de gestion, le traitement des pollutions concentrées en hydrocarbures ;
- a minima, le confinement de la pollution résiduelle (avec un dallage imperméable sur vide-sanitaire et une couche sous-jacente de matériau/remblai sain de 1 m d'épaisseur minimum) ;
- en RdC du futur bâtiment, les usages proscrits de logements (usages prévus de bureaux/commerces, parking et locaux de partie commune (escalier, ascenseur, locaux des vélos et des poubelles)) ;
- l'emploi de canalisations d'alimentation en eau potable (AEP) anti-perméation avec joints renforcés et enfouies au sein de matériaux propres et sains (abandon des anciennes canalisations d'AEP).

Toutes modifications des usages futurs et/ou une pollution résiduelle non intégrée dans la présente ARR, sont susceptibles d'induire une incompatibilité entre l'état du terrain et l'usage. Elles nécessiteraient alors des mesures supplémentaires de gestion des pollutions (mise-à-jour du Plan de Gestion).

Afin d'intégrer notamment les nouvelles données sur la qualité environnementale des sols à l'issue des travaux de réhabilitation et de confinement, la compatibilité de l'état résiduel des milieux avec les usages futurs devra être vérifiée à la réception des travaux de réhabilitation (nouvelle ARR en fin de travaux).

ANNEXES DE L'ARR



Annexe 3-1. Données toxicologiques

Cette annexe contient 5 pages.

Identification des dangers

En termes sanitaires, un danger désigne tout effet toxique, c'est-à-dire un dysfonctionnement cellulaire ou organique lié à l'interaction entre un organisme vivant et un agent chimique, physique ou biologique. La toxicité d'un composé dépend de la durée et de la voie d'exposition de l'organisme humain.

Tous les modes d'exposition sont traités en **effets chroniques**, correspondant à de longues durées d'exposition (supérieures à 7 ans pour l'US-EPA et supérieures à 1 an pour l'ATSDR).

Types d'effets distingués

Par chaque substance, différents effets toxiques peuvent être considérés. On distinguera dans le présent document les effets cancérogènes (apparition de tumeurs), les effets mutagènes (ou tératogènes consistant à la modification de l'ADN en particulier), les effets sur la reproduction (reprotoxicité) des autres effets toxiques.

Différents organismes internationaux (l'OMS, l'Union Européenne et l'US-EPA) ont classé les effets suscités en catégories ou classes. Celles-ci sont présentées en page suivante. Seule la classification de l'Union Européenne a un caractère réglementaire. C'est également la seule qui classe les substances chimiques quant à leur caractère mutagène et reprotoxique.

Les mentions de danger des substances sont présentées en préambule ainsi que les symboles (SGH01 à SGH09) qui les représentent. Ces mentions de danger sont liées au classement établi par l'Union Européenne.

Classification en termes de cancérogénicité

UE	US-EPA	CIRC
C1 (H350 ou H350i) : cancérogène avéré ou présumé l'être : C1A : Substance dont le potentiel cancérogène pour l'être humain est avéré C1B : Substance dont le potentiel cancérogène pour l'être humain est supposé	A : Preuves suffisantes chez l'homme	1 : Agent ou mélange cancérogène pour l'homme
C2 : Substance suspectée d'être cancérogène pour l'homme	B1 : Preuves limitées chez l'homme B2 : Preuves non adéquates chez l'homme et preuves suffisantes chez l'animal	2A : Agent ou mélange probablement cancérogène pour l'homme
Carc.3 : Substance préoccupante pour l'homme en raison d'effets cancérogènes possibles (R40)	C : Preuves inadéquates chez l'homme et preuves limitées chez l'animal	2B : Agent ou mélange peut-être cancérogène pour l'homme
-	D : Preuves insuffisantes chez l'homme et l'animal E : Indications d'absence de cancérogénicité chez l'homme et chez l'animal	3 : Agent ou mélange inclassables quant à sa cancérogénicité pour l'homme 4 : Agent ou mélange probablement non cancérogène chez l'homme -

Classification en termes de mutagénicité

UE	
M1 (H340) : Substance dont la capacité d'induire des mutations héréditaires est avérée ou qui sont à considérer comme induisant des mutations héréditaires dans les cellules germinales des êtres humains. Substance dont la capacité d'induire des mutations héréditaires dans les cellules germinales des êtres humains est avérée.	M1A : Classification fondée sur des résultats positifs d'études épidémiologiques humaines. Substance considérée comme induisant des mutations héréditaires dans les cellules germinales des êtres humains.
	M1B : Classification fondée sur des essais in vivo de mutagenicité sur des cellules germinales et somatiques et qui ont donné un ou des résultats positifs et sur des essais qui ont montré que la substance a des effets mutagènes sur les cellules germinales humaines, sans que la transmission de ces mutations à la descendance n'ait été établie.
M2 (H341) : Substance préoccupantes du fait qu'elle pourrait induire des mutations héréditaires dans les cellules germinales des êtres humains.	

Classification en termes d'effets reprotoxiques

UE	
R1 (H360 ou H360F ou H360D ou H360FD ou H360Fd ou H360fD) : Reprotoxique avéré ou présumé	R1A : Substance dont la toxicité pour la reproduction humaine est avérée. La classification d'une substance dans cette catégorie s'appuie largement sur des études humaines.
	R1B : Substance présumée toxique pour la reproduction humaine. La classification d'une substance dans cette catégorie s'appuie largement sur des données provenant d'études animales.
R2 (H361 ou H361f ou H361d ou H361fd) : Substance suspectée d'être toxique pour la reproduction humaine. Les substances sont classées dans cette catégorie lorsque les résultats des études ne sont pas suffisamment probants pour justifier une classification dans la catégorie 1 mais qui font apparaître un effet indésirable sur la fonction sexuelle et la fertilité ou sur le développement.	

La toxicité pour la reproduction comprend l'altération des fonctions ou de la capacité de reproduction chez l'homme ou la femme et l'induction d'effets néfastes non héréditaires sur la descendance.

Les effets sur la fertilité masculine ou féminine recouvrent les effets néfastes sur :

- sur la libido ;
- le comportement sexuel ;
- les différents aspects de la spermatogenèse ou de l'oogenèse ;
- l'activité hormonale ou la réponse physiologique qui perturberaient la fécondation ;
- la fécondation elle-même ou le développement de l'ovule fécondé.

La toxicité pour le développement est considérée dans son sens le plus large, perturbant le développement normal aussi bien avant qu'après la naissance.

Les produits chimiques les plus préoccupants sont ceux qui sont toxiques pour la reproduction à des niveaux d'exposition qui ne donnent pas d'autres signes de toxicité.

Symboles et phrases de risques

Le SGH ou Système général harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques est un ensemble de recommandations élaborées au niveau international. Il vise à harmoniser les règles de classification des produits chimiques et de communication des dangers (étiquettes, fiches de données de sécurité). En Europe, dans les secteurs du travail et de la consommation, le SGH est mis en application via le règlement CLP. Le nouveau règlement européen CLP (*Classification, Labelling and Packaging*) 1272/2008 du 16 décembre 2008 relatif à la classification à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges et modifiant les directives 67/548/CEE, 1999/45/CE et le règlement 1907/2006 a été publié le 31 décembre 2008 au Journal officiel de l'Union européenne.

Le règlement CLP est entré en vigueur le **20 janvier 2009**. Il prévoit néanmoins une période de transition durant laquelle l'ancien et le nouveau système de classification et d'étiquetage coexisteront. Sauf dispositions particulières prévues par le texte, la mise en application du nouveau règlement devient obligatoire à partir du **1er décembre 2010** pour les **substances** et du **1er juin 2015** pour les **mélanges**. Il est à souligner que, pour éviter toute confusion, les produits ne peuvent porter de double étiquetage. Au 1er juin 2015, le système préexistant sera définitivement abrogé et la nouvelle réglementation sera la seule en vigueur.

Les principales nouveautés pour l'étiquette de sécurité sont l'apparition de nouveaux pictogrammes de danger, de forme losange et composés d'un symbole noir sur un fond blanc bordé de rouge, et l'ajout de mention d'avertissement indiquant la gravité du danger ("DANGER", pour les produits les plus dangereux, et "ATTENTION"). Les étiquettes comporteront également des mentions de danger (ex: "Mortel par inhalation") en remplacement des phrases de risque (phrases R) et des nouveaux conseils de prudence (ex: "Éviter tout contact avec les yeux, la peau ou les vêtements").

MENTIONS DE DANGER

► 28 mentions de danger physique

- H200 : Explosif instable
- H201 : Explosif ; danger d'explosion en masse
- H202 : Explosif ; danger sérieux de projection
- H203 : Explosif ; danger d'incendie, d'effet de souffle ou de projection
- H204 : Danger d'incendie ou de projection
- H205 : Danger d'explosion en masse en cas d'incendie
- H220 : Gaz extrêmement inflammable
- H221 : Gaz inflammable
- H222 : Aérosol extrêmement inflammable
- H223 : Aérosol inflammable
- H224 : Liquide et vapeurs extrêmement inflammables
- H225 : Liquide et vapeurs très inflammables
- H226 : Liquide et vapeurs inflammables
- H228 : Matière solide inflammable
- H240 : Peut exploser sous l'effet de la chaleur
- H241 : Peut s'enflammer ou exploser sous l'effet de la chaleur
- H242 : Peut s'enflammer sous l'effet de la chaleur
- H250 : S'enflamme spontanément au contact de l'air
- H251 : Matière auto-échauffante ; peut s'enflammer
- H252 : Matière auto-échauffante en grandes quantités ; peut s'enflammer
- H260 : Dégage au contact de l'eau des gaz inflammables qui peuvent s'enflammer spontanément
- H261 : Dégage au contact de l'eau des gaz
- H270 : Peut provoquer ou aggraver un incendie ; comburant
- H271 : Peut provoquer un incendie ou une explosion ; comburant puissant
- H272 : Peut aggraver un incendie ; comburant
- H280 : Contient un gaz sous pression ; peut exploser sous l'effet de la chaleur
- H281 : Contient un gaz réfrigéré ; peut causer des brûlures ou blessures cryogéniques
- H290 : Peut être corrosif pour les métaux

► 38 mentions de danger pour la santé

- H300 : Mortel en cas d'ingestion
- H301 : Toxique en cas d'ingestion
- H302 : Nocif en cas d'ingestion
- H304 : Peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires
- H310 : Mortel par contact cutané
- H311 : Toxique par contact cutané
- H312 : Nocif par contact cutané
- H314 : Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves
- H315 : Provoque une irritation cutanée
- H340 : Peut induire des anomalies génétiques <indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H341 : Susceptible d'induire des anomalies génétiques <indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H350 : Peut provoquer le cancer <indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H351 : Susceptible de provoquer le cancer <indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H360 : Peut nuire à la fertilité ou au fœtus <indiquer l'effet spécifique s'il est connu> <indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H361 : Susceptible de nuire à la fertilité ou au fœtus <indiquer l'effet s'il est connu> <indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H362 : Peut être nocif pour les bébés nourris au lait maternel
- H317 : Peut provoquer une allergie cutanée
- H318 : Provoque des lésions oculaires graves
- H319 : Provoque une sévère irritation des yeux
- H330 : Mortel par inhalation
- H331 : Toxique par inhalation
- H332 : Nocif par inhalation
- H334 : Peut provoquer des symptômes allergiques ou d'asthme ou des difficultés respiratoires par inhalation
- H335 : Peut irriter les voies respiratoires
- H336 : Peut provoquer somnolence ou vertiges
- H370 : Risque avéré d'effets graves pour les organes <ou indiquer tous les organes affectés, s'ils sont formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H371 : Risque présumé d'effets graves pour les organes <ou indiquer tous les organes affectés, s'ils sont formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H372 : Risque avéré d'effets graves pour les organes <indiquer tous les organes affectés, s'ils sont formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>
- H373 : Risque présumé d'effets graves pour les organes <indiquer tous les organes affectés, s'ils sont connus> à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée <indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger>

► Pour certaines mentions de danger pour la santé des lettres sont ajoutées au code à 3 chiffres :





- H350i : Peut provoquer le cancer par inhalation
- H360F : Peut nuire à la fertilité
- H360D : Peut nuire au fœtus
- H361f : Susceptible de nuire à la fertilité
- H361d : Susceptible de nuire au fœtus
- H360FD : Peut nuire à la fertilité. Peut nuire au fœtus
- H361fd : Susceptible de nuire à la fertilité. Susceptible de nuire au fœtus
- H360Fd : Peut nuire à la fertilité. Susceptible de nuire au fœtus
- H360Df : Peut nuire au fœtus. Susceptible de nuire à la fertilité.

► 5 mentions de danger pour l'environnement

- H400 : Très toxique pour les organismes aquatiques
- H410 : Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme
- H411 : Toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme
- H412 : Nocif pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme
- H413 : Peut être nocif à long terme pour les organismes aquatiques

► Symboles de danger

- **SGH01 : Explosif** (ce produit peut exploser au contact d'une flamme, d'une étincelle, d'électricité statique, sous l'effet de la chaleur, d'un choc ou de frottements).
- **SGH02 : Inflammable** (Le produit peut s'enflammer au contact d'une flamme, d'une étincelle, d'électricité statique, sous l'effet de la chaleur, de frottements, au contact de l'air ou au contact de l'eau en dégageant des gaz inflammables).
- **SGH03 : Comburant** (peut provoquer ou aggraver un incendie – peut provoquer une explosion en présence de produit inflammable).
- **SGH04 : Gaz sous pression** (peut exploser sous l'effet de la chaleur (gaz comprimé, liquéfié et dissous) – peut causer des brûlures ou blessures liées au froid (gaz liquéfiés réfrigérés).
- **SGH05 : Corrosif** (produit qui ronge et peut attaquer ou détruire des métaux – peut provoquer des brûlures de la peau et des lésions aux yeux en cas de contact ou de projection).
- **SGH06 : Toxique ou mortel** (le produit peut tuer rapidement – empoisonne rapidement même à faible dose).
- **SGH07 : Dangereux pour la santé** (peut empoisonner à forte dose – peut irriter la peau, les yeux, les voies respiratoires – peut provoquer des allergies cutanées – peut provoquer somnolence ou vertige – produit qui détruit la couche d'ozone).
- **SGH08 : Nocif gravement pour la santé** (peut provoquer le cancer, modifier l'ADN, nuire à la fertilité ou au fœtus, altérer le fonctionnement de certains organes – peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires – peut provoquer des difficultés respiratoires ou des allergies respiratoires).
- **SGH09 : Dangereux pour l'environnement** (produit polluant – provoque des effets néfastes à court et/ou long terme sur les organismes des milieux aquatiques).

SGH01	SGH02	SGH03
		
SGH04	SGH05	SGH06
		
SGH07	SGH08	SGH09
		

Le tableau ci-après reprend l'ensemble des informations propres à chaque substance considérée dans la présente étude.

	CAS n°R	Volatilité	solubilité	Classement	Mention de danger	classement cancérogénéicité			EFFETS TOXIQUES A SEUIL			
		Pv	S	symboles			UE	CIRC (IARC)	EPA		Organe cible (oral)	Organe cible (inh°)
HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES												
Naphtalène	91-20-3	+	+	SGH07, SGH08, SGH09	H351, H302, H400, H410	C2	2B	C			poids	Syst. Resp.
COMPOSES AROMATIQUES MONOCYCLIQUES												
benzène	71-43-2	++	++	SGH02, SGH07, SGH08	H225, H350, H340, H372, H304, H319, H315	C1A M1B	1	A			sang	sang
toluène	108-88-3	++	++	SGH02, SGH07, SGH08	H225, H361d, H304, H373, H315, H336	R2	3	D			hépatique, rein	Syst. Nerveux
Ethylbenzène	100-41-4	+	++	SGH02, SGH07	H225, H332	-	2B	-			hépatique, rein	effet ototoxique
xylènes	1330-20-7	+	++	SGH02, SGH07	H226, H332, H312, H315	-	3	-			poids corporel	Syst. Nerveux
Cumène (Isopropylbenzène)	98-82-8	+	+	SGH02, SGH07, SGH08, SGH09	H226, H304, H335, H411	-	2B	D			rein	rein
Mésitylène (1,3,5 Triméthylbenzène)	108-67-8	+	+	SGH02, SGH07, SGH09	H226, H335, H411	-		-			syst, nerveux	syst, nerveux
Pseudocumène (1,2,4 Triméthylbenzène)	95-63-6	+	+	SGH02, SGH07, SGH09	H226, H332, H319, H335, H315, H411	-	-	-			syst, nerveux	syst, nerveux
HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH												
Aliphatique nC>5-nC6	non adéquat	++	+	white spirit, essences spéciales, solvants aromatiques légers, pétroles lampants (kérosène) : SGH08	tout type d'hydrocarbures : H350, H340, H304	classement fonction des hydrocarbures					non adapté	Syst. nerveux
Aliphatique nC>6-nC8	"	++	+							non adapté	Syst. nerveux	
Aliphatique nC>8-nC10	"	+	-							Syst. nerveux syst. hépatique	Syst. Hépatique	
Aliphatique nC>10-nC12	"	+	-							Syst. nerveux syst. hépatique	Syst. Hépatique	
Aliphatique nC>12-nC16	"	-	--							Syst. nerveux syst. hépatique	Syst. Hépatique	
Aliphatique nC>16-nC35	"	-	--							tumeurs hépatiques	-	
Aliphatique nC>35	"	--	--							tumeurs hépatiques	-	
Aromatique nC>5-nC7 benzène	"	++	++							-	-	
Aromatique nC>7-nC8 toluène	"	++	++							-	-	
Aromatique nC>8-nC10	"	+	+							poids	poids	
Aromatique nC>10-nC12	"	+	+							poids	poids	
Aromatique nC>12-nC16	"	-	+							poids	poids	
Aromatique nC>16-nC21	"	-	-							néphrotoxique	-	
Aromatique nC>21-nC35	"	--	--							non adapté	-	
COMPOSES ORGANO-HALOGENES VOLATILS												
PCE (tétrachloroéthylène)	127-18-4	++	++	SGH08, SGH09	H351, H411	C2	2A	B1			Hépatique	Neurotoxicité
Dichlorométhane	75-09-2	++	++	SGH08, SGH09	H351	C2	2B	B2			foie	foie
		LEGENDE Volatilité : ++ :Pv > 1000 Pa (COV) + : 1000 > Pv > 10 Pa (COV) - : 10 >P> 10-2 Pa (non COV) -- : 10-2 >P> 10-5 Pa (non COV)		LEGENDE Solubilité : ++ : S>100 mg/l + : 100>S>1 mg/l - : 1>S>0.01 mg/l -- : S<0.01 mg/l								

Annexe 3-2. Relations dose-réponse

Cette annexe contient 7 pages.

Relations dose-effet/dose-réponse

La dose est la quantité d'agent dangereux mise en contact avec un organisme vivant. Elle s'exprime généralement en milligramme par kilo de poids corporel et par jour (mg/kg/j).

La relation entre une dose et son effet est représentée par une grandeur numérique appelée Valeur Toxicologique de Référence (VTR). Établies par diverses instances internationales ou nationales¹ (Cf. § H) sur l'analyse des connaissances toxicologiques animales et épidémiologiques, ces VTR sont une appellation générique regroupant tous les types d'indices toxicologiques établissant une relation quantitative entre une dose et un effet (toxiques à seuil de dose) ou entre une dose et une probabilité d'effet (toxiques sans seuil de dose).

Selon les mécanismes toxicologiques en jeu et pour des expositions chroniques, deux grands types d'effets sanitaires peuvent être distingués : **les effets à seuil** de dose (effets non cancérogènes et effets cancérogènes à seuil²) et **les effets sans seuil** de dose (substances cancérogènes génotoxiques). Une même substance peut produire ces deux types d'effets.

Pour **les effets à seuil de dose**, on dispose en pratique et dans le meilleur des cas :

- d'un niveau d'exposition sans effet observé (NOEL : no observed effect level) ;
- d'un niveau d'exposition sans effet néfaste observé (NOAEL : no observed adverse effect level) ;
- d'un niveau d'exposition le plus faible ayant entraîné un effet (LOEL : lowest observed effect level) ;
- le niveau d'exposition le plus faible auquel un effet néfaste apparaît (LOAEL : lowest observed adverse effect level).

Ces seuils sont issus d'expérimentations animales, d'études épidémiologiques ou d'essais de toxicologie clinique. À partir de ces seuils, des DJT (dose journalière tolérable) ou des CA (concentration admissible) applicables à l'homme sont définies en divisant les seuils précédents par des facteurs de sécurité liés aux types d'expérimentations ayant permis d'obtenir ces données. Les DJT et CA sont habituellement qualifiées de « valeur toxicologiques de références » (VTR).

Les effets sans seuil de dose sont exprimés au travers d'un indice représentant un excès de risque unitaire (ERU) qui traduit la relation entre le niveau d'exposition chez l'homme et la probabilité de développer l'effet. Les ERU sont définis à partir d'études épidémiologiques ou animales. Les niveaux d'exposition appliqués à l'animal sont convertis en niveaux d'exposition équivalents pour l'homme.

Pour **les effets à seuil de dose**, les VTR sont exprimées en mg/kg/j pour l'ingestion et en µg/m³ pour l'inhalation, avec des dénominations variables selon les pays et les organismes, les principales dénominations sont reprises ci-dessous :

- DJT (dose journalière tolérable - France)
- RfD (Reference Dose – US-EPA)
- RfC (Reference Concentration – US-EPA)
- ADI (Acceptable Daily Intake – US-EPA)
- MRL (Minimum Reasonable Level - ATSDR)
- REL (Reference Exposure Level – OEHHA)

¹ ATSDR Toxicological Profiles (US Agency for Toxic Substances and Disease Registry)

IRIS US-EPA (Integrated Risk Information System ; US Environmental Protection Agency)

OMS. Guidelines for drinking-water quality.

INCHEM-IPCS (International Program on Chemical Safety, OMS)

En France, l'ANSES (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail) peut également produire des VTR

² Cancérogènes épigénétiques ou non génotoxiques

- TDI (Tolerable Daily Intake –RIVM)
- CAA (Concentration dans l'Air Admissible – OMS);

En France, la dénomination retenue par l'ANSES¹ pour l'ensemble de ses valeurs est la dénomination générique « VTR » (Valeur Toxicologique de Référence)

Pour les effets sans seuil de dose, les VTR seront présentées sous formes d'excès de risque unitaire (ERU). Cet ERU représente la probabilité de survenue d'un effet cancérigène pour une exposition à une unité de dose donnée. Les dénominations proposées les plus classiques sont les suivantes :

- l'excès de risque unitaire lié à la voie d'exposition orale : ERUo en (mg/kg/j)⁻¹,
- l'excès de risque unitaire par inhalation : ERUi en (µg/m³)⁻¹.

Critères de choix des VTR

La note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact et de la gestion des sites et sols pollués est prise en compte pour la sélection des VTR.

En l'absence de VTR établie par l'ANSES, en application de la note DGS/DGPR précitée, pour chaque substance, les différentes VTR actuellement disponibles seront recherchées de façon à discuter le choix réalisé sur les critères suivants :

- les valeurs issues d'études chez l'homme par rapport à des valeurs dérivées à partir d'études sur les animaux. Par ailleurs, la qualité de l'étude pivot sera également prise en compte (protocole, taille de l'échantillon, ...)
- les modes de calcul (degré de transparence dans l'établissement de la VTR) et les facteurs de sécurité appliqués constitueront également un critère de choix ;
- les valeurs issues d'organismes reconnus (européens ou autres).

Ainsi, en l'absence d'**expertise nationale** ou de VTR proposée par l'**Anses**, la VTR sera retenue selon l'ordre de priorité défini par la circulaire DGS/DGPR du 31/10/2014, à savoir :

- la VTR la plus récente parmi les trois bases de données : **US-EPA, ATSDR ou OMS** sauf s'il est fait mention par l'organisme de référence que la VTR n'est pas basée sur l'effet survenant à la plus faible dose et jugé pertinent pour la population visée ;
- Puis, si aucune VTR n'était retrouvée dans les 4 bases de données (Anses, US-EPA, ATSDR et OMS), la VTR la plus récente proposée par **Santé Canada, RIVM, l'OEHA ou l'EFSA**.

VTR pour la voie cutanée

Lors de la réalisation d'évaluations des risques sanitaires en France, l'exposition cutanée n'est pas prise en compte, en raison de l'absence de valeurs toxicologiques de référence (VTR) et de méthodologie d'élaboration. Ainsi, l'INERIS a récemment travaillé sur la prise en compte de la voie cutanée et a proposé une méthode de construction de VTR pour des effets sensibilisants pour une exposition de la peau (INERIS, rapport DRC-07-85452-12062A, 2007).

A l'heure actuelle, l'INERIS continue son travail concernant les VTR pour des effets cutanés. L'objet de son rapport DRC-09-94380-01323A d'avril 2009, est d'ajuster la méthodologie précédemment proposée en prenant notamment en compte les recommandations du document guide développé pour la mise en œuvre du règlement REACH relatif à une méthodologie d'établissement des DNEL (Derived No Effect Level) pour les effets sensibilisants. La méthodologie a été appliquée à trois substances sensibilisantes : l'hydroquinone, substance pour laquelle deux types de tests étaient disponibles (LLNA et GPMT) qui présentait ainsi une

¹ANSES : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail

bonne étude de cas pour la méthodologie et le benzo(a)pyrène, substance couramment retrouvée en évaluation des risques. Le 3-méthyleugénol, faiblement sensibilisant, a également été étudié dans l'objectif d'avoir un aperçu sur l'étendue possible des valeurs des DNEL. Ces valeurs ne sont pas reprises dans le présent document.

In fine, GINGER BURGEAP applique la note DGS/DGPR d'octobre 2014 qui mentionne « en l'absence de procédures établies pour la construction de VTR pour la voie cutanée, il ne doit être envisagé aucune transposition à cette voie de VTR disponibles pour les voies orale ou respiratoire ».

Autres valeurs de comparaison utilisées

L'utilisation d'autres valeurs que les Valeurs Toxicologiques de Référence peut être réalisée parallèlement à la quantification des risques sanitaires. Ces autres valeurs permettent en effet de discuter de l'exposition des individus et d'estimer l'état des milieux, à savoir si un impact est mesuré (ou mesurable) ou non.

Ces valeurs de comparaison regroupent des valeurs réglementaires (France et Europe), des valeurs guide (OMS, INDEX, CHSPF) qui sont généralement des valeurs qui servent de point de départ à l'élaboration de valeurs réglementaires et, dans le contexte particulier du code du travail, des valeurs limites pour l'exposition professionnelle (VLEP) qu'elles soient réglementaires ou indicatives. Les VLEP peuvent en effet avec les seuils olfactifs être des éléments de l'interprétation de l'état du milieu air en l'absence de toute autre valeur guide.

Ces valeurs ne sont en aucun cas (conformément à la note DGS/DGPR d'octobre 2014) utilisées pour évaluer les Quotient de Danger (QD) et excès de risques individuels (ERI) faisant référence à une évaluation des risques sanitaires. Ces valeurs appelées valeurs de comparaison constituent des critères de gestion.

Valeurs réglementaires

► Milieu EAU

Pour le milieu eau, les valeurs réglementaires pour les eaux potables issues de la réglementation française (décret 2007-49 et arrêté du 11 janvier 2007) mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique sont utilisées.

Les valeurs réglementaires existantes constituent les critères de gestion des eaux à vocation alimentaire (donc la valeur limite de concentrations des eaux au robinet des habitations), à ce titre, il n'est pas approprié d'établir un autre critère de gestion pour les eaux de nappe qui ont vocation à être utilisées à des fins alimentaires directement (ingestion de l'eau d'un puits sans traitement) ou indirectement (ingestion de l'eau après traitement, ingestion de produits alimentaires arrosés avec l'eau de nappe, etc.). Sont également présentées les limites de qualité des eaux brutes utilisées pour la production d'eau destinées à la consommation humaine issues de ce même décret.

Au niveau Européen, la directive de la communauté européenne : Directive de la CE (03/11/98) donnent également la majorité des valeurs françaises.

Pour la baignade les valeurs réglementaires définies dans le décret n°2003-462 du 21 mai 2003 **relatif aux dispositions réglementaires des parties I, II et III du code de la santé (articles 1332, annexe 13-5) sont retenues.**

► Milieu AIR

Le Décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 transpose la directive européenne 2008/50/CE concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe et précise notamment les nouvelles normes à appliquer.

Ces valeurs réglementaires françaises sont établies pour l'air atmosphérique extérieur, pour des durées d'exposition (3h, 24h ou vie entière) et sur la base de moyennes horaires, journalières ou annuelles. On distingue 5 niveaux de **valeurs réglementaires** :

- **Objectif de qualité** : niveau de concentration à atteindre à long terme et à maintenir, sauf lorsque cela n'est pas réalisable par des mesures proportionnées, afin d'assurer une protection efficace de la santé humaine et de l'environnement dans son ensemble.

- Valeur cible : niveau de concentration à atteindre, dans la mesure du possible, dans un délai donné, et fixé afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou l'environnement dans son ensemble.
- Valeur limite pour la protection de la santé : niveau de concentration à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser, et fixé sur la base des connaissances scientifiques afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou l'environnement dans son ensemble.
- Seuil d'information et de recommandation : niveau de concentration au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine de groupes particulièrement sensibles au sein de la population et qui rend nécessaires l'émission d'informations immédiates et adéquates à destination de ces groupes et des recommandations pour réduire certaines émissions.
- Seuil d'alerte de la population : niveau de concentration au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé de l'ensemble de la population ou de dégradation de l'environnement, justifiant l'intervention de mesures d'urgence.

Des valeurs réglementaires françaises existent pour le monoxyde de carbone, le benzène, le benzo(a)pyrène, les PM10 et PM2.5, dioxyde de soufre, dioxyde d'azote, arsenic, cadmium, nickel et plomb.

Enfin, pour l'air intérieur des ERP (Etablissement recevant du public) des valeurs guides réglementées en France ont été mises en place, elles sont reprises dans le présent document. La loi du 1er août 2008 relative à la responsabilité environnementale oblige à définir des « valeurs-guides pour l'air intérieur » dans les ERP.

Le décret **n°2011-1727 du 2 décembre 2011 relatif aux valeurs-guides pour l'air intérieur** y pourvoit pour le formaldéhyde, gaz incolore principalement utilisé pour la fabrication de colles, liants ou résines, et pour le benzène, substance cancérigène aux effets hématologiques issue de phénomènes de combustion (gaz d'échappement, cheminée, cigarette, etc.). La valeur-guide pour le formaldéhyde est fixée pour une exposition de longue durée à 30 µg/m³ au 1er janvier 2015 et à 10 µg/m³ au 1er janvier 2023. La valeur-guide pour le benzène est fixée pour une exposition de longue durée à 5 µg/m³ au 1er janvier 2013 et à 2 µg/m³ au 01/01/2016.

► Autres milieux

D'autres milieux sont concernés par des valeurs réglementaires en France (dans le domaine alimentaire par exemple). Celles-ci ne sont pas détaillées ici mais constituent au même titre que les concentrations dans l'eau et l'air des valeurs de gestion.

Valeurs guides

Les valeurs guides peuvent porter sur le milieu eau, air, sol et matrices alimentaires (animales, végétales). Ces valeurs, bien que reposant sur des critères sanitaires sont considérées comme des valeurs de gestion, et ne constituent pas, stricto sensu, des valeurs toxicologiques de référence.

► OMS –Eaux potables

L'OMS édite un ouvrage intitulé « Guidelines for drinking water quality » qui reprend les valeurs guides pour les eaux potables de nombreuses substances. Cet ouvrage régulièrement mis à jour est actuellement à sa 4^{ème} édition. Elle date de 2011.

► OMS –Air et air intérieur

Le bureau Europe de l'Organisation Mondiale de la Santé a publié en 2000 un document intitulé « Air Quality Guidelines in Europe » [WHO 2000]¹ dans lequel figurent des valeurs guides pour la qualité de l'air.

L'objet de ce guide est de fournir une base pour la protection de la santé publique contre les effets néfastes des polluants atmosphériques, dans la perspective d'une cessation ou d'une réduction de l'exposition aux polluants qui nuisent certainement ou probablement à la santé ou au bien-être. Ce guide présente des

¹ WHO. Air Quality Guidelines. Second edition WHO Regional Publications, European Series, No. 91.2000, 273 pages.

informations générales et des conseils aux autorités internationales, nationales et locales qui souhaitent évaluer les risques et prendre des décisions concernant leur gestion. Ce guide établit des niveaux de polluants au-dessous desquels l'exposition (à vie ou pendant une période donnée) ne représente pas de risque important pour la santé publique.

En ce qui concerne les polluants abordés, les sections relatives à l'évaluation des risques pour la santé et aux valeurs-guides exposent les considérations les plus pertinentes qui ont conduit à l'adoption des valeurs-guides recommandées.

Certains polluants ont été revus par l'OMS en 2005 (WHO air quality guidelines, global update, 2005)¹. Cette révision s'appuie sur l'ensemble des connaissances acquises ces dernières années (études épidémiologiques notamment).

Enfin, en 2010, l'OMS a publié un document intitulé « WHO guidelines for indoor air quality » [WHO 2010] dans lequel figurent des valeurs guides spécifiques pour la qualité de l'air intérieur.

► INDEX – Air intérieur

Le rapport final du projet INDEX : « Critical Appraisal of the setting and implementation of indoor exposures limits in the EU », 2005 élaboré par l'institut de la protection de la santé et du consommateur propose des valeurs guide pour l'air intérieur.

Les substances listées dans ce document sont le benzène, le toluène, les xylènes, le styrène, le naphtalène, l'acétaldéhyde, le formaldéhyde, le dioxyde de carbone, le dioxyde d'azote, l'ammoniac, le limonène, l'alpha pinène.

Les informations sur les expositions, la toxicité et la caractérisation du risque ont conduit les membres du projet à donner des recommandations quant aux expositions dans l'air intérieur à ne pas dépasser pour différentes durées.

► ANSES – Air intérieur

L'ANSES (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail) a pour mission de contribuer à assurer la sécurité sanitaire humaine dans les domaines de l'environnement, du travail et de l'alimentation, notamment en mobilisant une expertise scientifique et technique pluridisciplinaire nécessaire à l'évaluation des risques.

Pour faire face à l'enjeu que représente la qualité de l'air intérieur et apporter aux pouvoirs publics des informations utiles à la gestion de ce risque, l'ANSES s'est auto-saisie en octobre 2004, de l'élaboration de valeurs guides de qualité de l'air intérieur (VGAI) en France. Elles sont exclusivement construites sur des critères sanitaires. Elles sont exprimées sous forme de concentration dans l'air, associée à un temps d'exposition (VGAI court terme, VGAI long terme, VGAI intermédiaire), en dessous de laquelle aucun effet sanitaire, aucune nuisance, ou aucun effet indirect important sur la santé n'est en principe attendu pour la population générale.

Dans le cadre de substances dont les effets se manifestent sans seuil de dose, les VG sont exprimées sous la forme de niveaux de risque correspondant à une probabilité de survenue de la maladie.

En décembre 2014, date de la mise à jour de ce document, 11 polluants d'intérêt de l'air intérieur ont fait l'objet d'une expertise de l'Anses sur les VGAI.

Voir : <https://www.anses.fr/fr/content/valeurs-guides-de-qualit%C3%A9-d%E2%80%99air-int%C3%A9rieur-vgai>

¹ WHO. Air Quality Guidelines. Global update 2005. Report on a working group meeting. Bonn, Germany. 18-20 october 2005.

► CSHPF et HCSP

Le Conseil supérieur d'hygiène publique de France (CSHPF) est une instance d'expertise scientifique et technique, placée auprès du ministre chargé de la santé. Cette instance a un rôle d'évaluation et de gestion des risques pour la santé de l'homme. Le CSHPF peut être consulté lorsque se posent des problèmes sanitaires. Les avis et les recommandations émis par le CSHPF constituent une base essentielle à la prise de décision en santé publique et peuvent également servir d'appui à l'élaboration de textes réglementaires.

Les avis et rapports du CSHPF sont consultables sur le site suivant : <http://www.sante.gouv.fr/avis-et-rapports-du-cshpf.html>

Le Haut Conseil de la santé publique a été officiellement installé le 14 mars 2007. Ses 105 membres ont élu leur président et leur vice-président. Le HCSP est une instance d'expertise créée par la Loi relative à la politique de santé publique du 9 août 2004. Il reprend, en les élargissant, les missions du Conseil supérieur d'hygiène publique de France (CSHPF) et celles du Haut Comité de la santé publique.

Les avis et rapports du HCSP sont consultables sur le site suivant :

<http://www.hcsp.fr/explore.cgi/accueil?ae=accueil>

Organismes consultés pour la recherche de VTR

Les bases de données consultées pour la recherche des VTR sont les suivantes (présentée dans l'ordre de priorité préconisé par la note d'information DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014) :

- **Anses** (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail).
- **US EPA** (United States Environmental Protection Agency – Etat Unis) dont dépend la base de données **IRIS** – Integrated Risk Information System).
- **ATSDR** (Agency for Toxic Substances and Disease Registry – Etats-Unis).
- **OMS** (Organisation Mondiale de la Santé – Bureau régional de l'Europe) / **IPCS** (International Program on Chemical Safety).

Ces organismes établissent leurs propres VTR à partir d'études expérimentales ou épidémiologiques. Les valeurs issues de ces bases de Données sont des données à caractère national mais elles sont internationalement reconnues.

Viennent ensuite les organismes pour lesquels la transparence dans l'établissement des valeurs n'est pas toujours adaptée à la sélection de leur VTR :

- **Health Canada = Santé canada** (Ministère Fédéral de la Santé – Canada),
- **RIVM** (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu – Institut National de Santé Publique et de l'Environnement – Pays Bas),
- **OEHHA** (Office of Environmental Health Hazard Assessment of Californie – Etat Unis) qui établit également ces propres VTR. L'OEHHA se base souvent sur les mêmes études que l'US EPA mais les VTR sont souvent plus conservatoires.
- **EFSA** (European Food Safety Authority).

Des recueils de données sont consultés par ailleurs car ils regroupent les VTR des différents organismes cités ci-avant. Ce sont :

- **Furetox** (Faciliter l'Usage des REsources TOXicologique), base de données française réalisée en partenariat avec l'Institut de Veille sanitaire, l'ARS Nord Pas de Calais et l'ARS Ile de France.
- **TERA** (toxicology excellence for risk assessment), base de données **de ITER** (International Toxicity Estimates for Risk Database), établit une synthèse des données toxicologiques issues des autres bases de données.
- **INERIS** (Institut National de l'Environnement Industriel et des risques - France), établit des fiches de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques qui synthétisent notamment l'ensemble des données toxicologiques issues des autres bases de données - à l'heure actuelle ce programme contient une cinquantaine de fiches.
- **IPCS INCHEM** (International Programme on Chemical Safety) : Portail d'accès à de nombreux sites dont le **CIRC** (Centre International de Recherche sur de Cancer), le **JEFCA** ([Joint Expert Committee on Food Additives](#)) et autres instances internationales.

Le recueil de donnée **RAIS** (Risk Assessment Information System – Etat Unis) reprenant les valeurs des autres organismes américains, en particulier du **NTP** (National Toxicology Program) et de **IRIS** de l'US EPA, n'est pas considéré compte tenu de l'absence de toute transparence dans les valeurs affichées.

Annexe 3-3. Estimation des concentrations dans les milieux d'exposition

Cette annexe contient 7 pages.

Concentration dans les gaz du sol et coefficients de diffusion dans les sols

Concentration dans les gaz du sol

La concentration dans les gaz du sol quand elle n'est pas donnée directement par l'utilisateur est calculée à partir des équations suivantes.

Elle correspond à la valeur minimale issue des équations (a) et (b) :

$$C_{gds} = (C_t \times \rho_b \times K_H) / (\theta_a \times K_H + \theta_w + \rho_b \times F_{oc} \times K_{oc}) \quad (a)$$

Équation utilisée quand $C_w < \text{Solubilité effective}$

Avec C_t : concentration en polluant dans le sol (mg/kg)
 ρ_b : densité du sol (g/cm³)
 F_{oc} : fraction de carbone organique dans le sol (g co/g sol)
 K_{oc} : coefficient de partition du carbone organique (mg/l/g)
 K_H : constante de Henry adimensionnelle (-)
 θ_a : teneur en air dans les sols (-)
 θ_w : teneur en eau dans les sols (-)

$$C_{wi} = X \cdot S \quad (c)$$

$$C_w = \frac{C_{gds}}{H} \quad (b)$$

Équations utilisées en présence de phase résiduelle dans les sols ($C_w > \text{Solubilité}$)

Avec C_{wi} : concentration de la substance i dans l'eau du sol (mg/l),
 H : constante de Henry (-)
 X : fraction molaire de la substance i dans le mélange (-)
 S : solubilité de la substance i (mg/l)

Coefficients de diffusion dans les gaz du sol

Le coefficient de diffusion réel dans le milieu poreux (D_{sa} dans l'air et D_{sw} dans l'eau) est calculé par la solution analytique développée par Millington and Quirk (1981) à partir de la porosité des sols, de la teneur en air et en eau et des coefficients de diffusion de la substance dans l'air et dans l'eau.

$$D_{sa} = D_a \cdot \theta_a \cdot \left(\frac{\theta_a^{7/3}}{\theta^2} \right) \quad (d)$$

$$D_{sw} = \frac{D_w}{H} \cdot \theta_w \cdot \left(\frac{\theta_w^{7/3}}{\theta^2} \right) \quad (e)$$

Avec :

H : constante de Henry adimensionnelle (-),
 D_a : coefficient de diffusion dans l'air libre (m²/s), D_w : coefficient de diffusion dans l'eau libre (m²/s)
 θ : porosité totale (-), θ_w teneur en eau du sol (-), θ_a teneur en gaz du sol (-)

Le coefficient de diffusion effectif dans le milieu poreux correspond à la somme des deux termes précédents (d) et (e).

$$D_{eff} = D_{sa} + D_{sw} \quad (f)$$

En zone non saturée, le coefficient de diffusion dans la phase gazeuse est approximativement 10⁴ fois plus grand que le coefficient de diffusion dans la phase aqueuse, ce qui explique que certains modèles de transfert gazeux ne considèrent que l'équation (d). GINGER BURGEAP réalise cette sommation, excepté pour l'application du modèle VOLASOIL en application stricte des équations décrites dans (Waitz et al. 1996).

Caractéristiques de la dalle béton (commun à différents modèles air intérieur)

Béton

La perméabilité d'un matériau comme le béton est liée dans les modèles de transfert à sa fissuration. Dans le modèle développé par Johnson et Ettinger, seule la fissuration périphérique intervient considérant le reste de la dalle comme non poreuse et non perméable. Dans les autres modèles (Waitz et al, 1996, Bakker et al. 2008) la perméabilité de la dalle peut être exprimée en lien avec le taux de fissuration comme suit.

$$K_f = \frac{f_{of}^2}{8.n.\pi} \quad (g)$$

Avec K_f : perméabilité de la dalle (m^2)

f_{of} : taux de fissuration dans la dalle (-) = surface des fissures / surface de la dalle

n : nombre de fissures dans la dalle par unité de surface (m^{-2}). Le nombre de fissures dans la dalle par unité de surface est par défaut de Volasoil de 10 fissures pour 50 m^2 , soit égal à 0,2 m^{-2} .

Pour le taux de fissures dans la dalle f_{of} , dans *The VOLASOIL risk assessment model based on CSOIL for soils contaminated with volatils compounds*, le RIVM donne les informations reprise dans le tableau suivant. A titre d'information, nous avons reporté dans ce tableau les perméabilités de dalle calculées, en supposant un nombre de fissures dans la dalle par unité de surface de 0,2 m^{-2} .

Taux de fissure dans la dalle f_{of} (-)	Kdalle associée (m^2)	Qualité de la dalle	Recommandation utilisation dans la modélisation
2.10^{-4}	8.10^{-9}	Dalle de qualité « très mauvaise » selon Bakker et al. (2008)	Niveau de perméabilité non retenu équivalent à un plancher bois ou dalles fendues
10^{-5}	2.10^{-11}	Dalle de qualité « normale » selon Bakker et al. (2008)	Perméabilité de la dalle après un vieillissement normal (<u>étudiée en incertitudes</u>). Valeur analogue en perméabilité à un sable.
10^{-6}	2.10^{-13}	Dalle de bonne qualité selon Bakker et al. (2008)	Perméabilité de la dalle retenue par défaut si non connue pour des nouvelles constructions
10^{-7}	2.10^{-15}	Dalle de très bonne qualité selon Bakker et al. (2008)	Perméabilité de la dalle qui pourra être retenue en présence d'une géomembrane en base ou résine de type époxy

Concernant la diffusion des polluants à travers la dalle en béton, celle-ci est calculée par application des équations (d), (e) et (f) en prenant en compte des valeurs de porosité et teneur en eau spécifiques :

- Porosité de la dalle de 12 %. Cette valeur est déterminée pour un béton ordinaire de rapport E/C = 0,48, d'après « Caractérisation des pâtes de ciments et des bétons – Méthodes, analyse, interprétation ». Véronique BAROGHEL-BOUNY. LCPC, 1994.
- Teneur en eau de 7% (valeur par défaut choisie à partir des travaux spécifiques du département R&D de BURGEAP mettant en évidence des rapports entre la diffusion dans l'air libre et la diffusion dans le matériau (D_a/D_{sa}) compris entre 370 et 15000.

Les caractéristiques retenues conduisent à un rapport entre la diffusion dans l'air libre et la diffusion dans le matériau de 312.

Enrobé

Pour les aménagements extérieurs, le terrain naturel ou le remblai peut être recouvert par une couche d'enrobé. Dans ce cas les caractéristiques suivantes sont considérées pour le calcul de la diffusion des polluants par application des équations (d), (e) et (f). Les caractéristiques en termes de porosités et teneur en eau des enrobés asphaltés sont diverses, dépendant de la typologie des enrobés. Dans l'application des calculs de risques à la réutilisation des terres excavées, Blanc et al. (2012)¹¹ retiennent pour l'enrobé extérieur (parking) une porosité de 3% et une teneur en eau nulle ; aucun argumentaire n'est cependant donné sur la source de ces valeurs. BURGEAP, sur la base d'une analyse de la bibliographie disponible (2019) retient les valeurs suivantes conduisant à un rapport entre la diffusion dans l'air libre et la diffusion dans le matériau de 414 :

- Porosité de l'enrobé de 3 % ;
- Teneur en eau de 1%

Pour l'étude de sensibilité, les valeurs retenues par Blanc et al. (2012) conduisant à un rapport entre la diffusion dans l'air libre et la diffusion dans le matériau de 107 sera utilisé.

¹¹ Blanc C. avec la participation de F.Lefevre (MEDDTL), G.Boissard, M.Scamps (BRGM) et B.Hazebrouck (INERIS) – (2012) - Guide de réutilisation hors site des terres excavées en technique routière et dans des projets d'aménagement. BRGM/RP-60013-FR, 53p

Concentration de vapeurs dans l'air intérieur - bâtiment sur vide sanitaire

Modèle en source infinie utilisé

Les équations du logiciel **VOLASOIL** développées par le National Institute of Public Health and the Environment Bilthoven, Pays Bas, sont utilisées pour évaluer le transfert de polluants des gaz du sol vers l'air intérieur d'un bâtiment avec vide sanitaire. VOLASOIL correspond à une amélioration du logiciel CSOIL, conçu pour déterminer les « valeurs d'intervention » dans les sols et dans les eaux, mais jugé peu adapté au calcul de risques sur des sites variés.

Le transport des polluants sous forme vapeur à travers le sol s'effectue grâce aux phénomènes de diffusion et de convection. Le mouvement convectif est dû à une différence de pression entre l'air du sol et l'air intérieur, occasionnée par la combinaison du vent, du chauffage et des mécanismes de ventilation. C'est également la convection qui dirige le transport des vapeurs du vide sanitaire vers l'air intérieur.

Le modèle utilisé considère une source de pollution infinie (pas de diminution au cours du temps).



Flux convectif du sol vers le vide sanitaire

Le flux de substances volatiles le long de la colonne de sol située sous le vide sanitaire est induit par la combinaison d'un **flux par diffusion moléculaire** et un **flux par convection**.

Le flux par convection, Q_{vs} (m³/s), dans le sol vers le vide sanitaire est obtenu en appliquant la loi de Darcy :

$$Q_{vs} = \frac{k_v}{\eta} \cdot \frac{A_{vs}}{L_s} \cdot dP_{vs} \quad (1)$$

Avec k_s : perméabilité intrinsèque des sols (m²)
 η : viscosité dynamique de l'air (Pa.s)
 A_{vs} : surface du vide sanitaire au contact avec le sol (m²)
 dP_{vs} : différence de pression entre le sol et le vide sanitaire (Pa)
 L_s : distance entre le toit de la pollution et le vide sanitaire (m)

En cas de vide sanitaire faiblement ventilé (ou non ventilé), le flux d'air du sol vers le vide sanitaire doit être à l'équilibre (et ne peut être supérieur) avec le renouvellement d'air du vide sanitaire, ainsi la formule (1) est associée à la condition suivante :

$$Q_{vs} \leq A_{vs} \cdot \tau_v \cdot h_i \quad (2)$$

Avec : h_c : hauteur du vide sanitaire (m)
 τ_v : taux de ventilation du vide sanitaire (s⁻¹)
 A_{vs} : surface du vide sanitaire au contact avec le sol (m²)

Flux convectif du vide sanitaire vers l'air intérieur

Le débit d'air Q_{ai} (m^3/s) entre le vide sanitaire et l'air intérieur du rez-de-chaussée est dû à un phénomène de convection, Q_{ai} est obtenu en appliquant la loi de Darcy :

$$Q_{ai} = \frac{k_d}{\eta} \cdot \frac{A_d}{L_d} \cdot dP_{ai-vs} \quad (3)$$

Avec K_d : perméabilité à l'air de la dalle qui sépare le vide sanitaire du rez-de-chaussée (m^2)
 η : viscosité dynamique de l'air ($Pa.s$)
 A_d : surface de la dalle séparant le vide sanitaire et le rez-de-chaussée (m^2)
 dP_{ai-vs} : différence de pression entre l'air intérieur et le vide sanitaire (Pa)
 L_d : épaisseur de la dalle qui sépare le vide sanitaire du rez-de-chaussée (m)

En cas de vide sanitaire faiblement ventilé (ou non ventilé), le flux d'air du vide sanitaire vers le rez de chaussée doit être à l'équilibre (et ne peut être supérieur) avec le renouvellement d'air du rez de chaussée, ainsi la formule (3) est associée à la condition suivante :

$$Q_{ai} \leq A_d \cdot \tau_i \cdot h_i \quad (4)$$

Avec h_i : hauteur du rez-de-chaussée (m)
 τ_i : taux de ventilation d'air du rez de chaussée (s^{-1})
 A_d : surface de la dalle séparant le vide sanitaire du rez de chaussée (m^2)

Flux massique du sol vers le vide sanitaire

L'équation utilisée afin de calculer le flux massique J_{vs} ($mg/m^2/s$) du sol vers le vide sanitaire est la suivante, elle intègre le flux convectif et diffusif depuis les sols :

$$J_{vs} = - \frac{\frac{Q_{vs}}{A_c} \times C_{gds}}{\exp\left(\frac{-Q_{vs} L_s}{D_{sa} A_c}\right) - 1} \quad (5)$$

Avec J_{vs} : flux massique de polluant du sol vers le vide sanitaire ($mg/m^2/s$)
 C_{gds} : concentration en polluant dans l'air du sol à la source (mg/m^3)
 Q_{vs} : flux d'air du sol vers le vide sanitaire (m^3/s)
 A_{vs} : surface du vide sanitaire au contact avec le sol (m^2)
 D_{sa} : coefficient de diffusion effective de la substance (m^2/s), calculé à partir de la porosité et de la teneur en eau des différents horizons de sols voir équations (d), (e) et (f)
 L_s : distance entre le toit de la pollution dans les sols et le vide sanitaire (m)

Cette équation suppose que la concentration dans l'air du vide sanitaire est négligeable devant la concentration dans l'air du sol à la source. Par ailleurs, il est à noter que dans cette équation, la diffusion des polluants gazeux dans l'eau des sols est considérée comme négligeable et non intégrée au calcul.

Concentration dans le vide sanitaire

La concentration en substances volatiles dans le vide sanitaire est obtenue en réalisant un bilan de masse dans le vide sanitaire en considérant les dimensions du vide sanitaire et le taux de renouvellement de l'air de ce dernier (même principe que le modèle boîte). Ce taux de renouvellement est calculé à partir du taux de ventilation du vide sanitaire (ventilation naturelle ou forcée) et du flux de vapeurs du vide sanitaire vers l'intérieur du bâtiment :

$$C_{vs} = \frac{J_{vs}}{h_{vs} \times RA_{vs}} \quad \text{avec} \quad RA_{vs} = \tau_{vs} + \frac{Q_{ai}}{A_{vs} \times h_{vs}} \quad (6), (7)$$

Avec C_{vs} : concentration en polluant dans le vide sanitaire ($\mu g/m^3$)
 J_{vs} : flux massique de polluant du sol vers le vide sanitaire ($mg/m^2/s$)
 h_{vs} : hauteur du vide sanitaire (m)
 RA_{vs} : taux de renouvellement d'air du vide sanitaire (s^{-1})
 τ_{vs} : taux de ventilation du vide sanitaire (s^{-1})
 Q_{ai} : flux d'air du vide sanitaire vers l'air intérieur (m^3/s)
 A_{vs} : surface du vide sanitaire au contact avec le sol (m^2)

En cas de vide sanitaire faiblement ventilé (ou non ventilé), la concentration dans le vide sanitaire ne peut être supérieure à la concentration au niveau du terme source, ainsi la condition suivante doit être vérifiée. Si cela n'est pas le cas, la concentration dans le vide sanitaire est prise égale à celle dans les sols à la source.

$$C_{vs} \leq C_{gds} \quad (8)$$

Avec : C_{vs} : concentration en polluant dans le vide sanitaire (mg/m³)
 C_{gds} : concentration en polluant dans l'air du sol à la source (mg/m³)

Flux massique du vide sanitaire vers l'air intérieur

L'équation utilisée pour calculer le flux massique J_{ai} (mg/m²/s) est donné par :

$$J_{ai} = \frac{Q_{ai}}{A_d} \times C_{vs} \quad (9)$$

Avec : J_{ai} : flux massique de polluant du vide sanitaire vers l'air intérieur (mg/m²/s)
 C_{vs} : concentration en polluant dans le vide sanitaire (mg/m³)
 Q_{ai} : flux d'air du vide sanitaire vers l'air intérieur (m³/s)
 A_d : surface de la dalle séparant le vide sanitaire et le rez-de-chaussée (m²)

Concentration dans l'air intérieur

De même que pour le vide sanitaire, la concentration en substances volatiles dans l'air intérieur est obtenue en réalisant un bilan de masse pour le rez-de-chaussée, avec un taux de renouvellement d'air dans le bâtiment calculé à partir du taux de ventilation de la pièce considérée et du flux de vapeurs du vide sanitaire vers l'intérieur du bâtiment :

$$C_{ai} = \frac{J_{ai}}{h_{ai} \times RA_{ai}} \quad \text{avec} \quad RA_{ai} = \tau_{ai} + \frac{Q_{ai}}{A_d \times h_{ai}} \quad (10), (11)$$

Avec : C_{ai} : concentration en polluant dans l'air intérieur du lieu de vie (mg/m³)
 h_{ai} : hauteur du lieu de vie (m)
 RA_{ai} : taux de renouvellement du lieu de vie (s⁻¹)
 τ_{ai} : taux de ventilation du lieu de vie (s⁻¹)
 Q_{ai} : flux d'air du vide sanitaire vers l'air intérieur (m³/s)
 A_d : surface de la dalle séparant le vide sanitaire et le lieu de vie (m²)

Les paramètres suivants sont retenus pour l'application des équations ci-dessus :

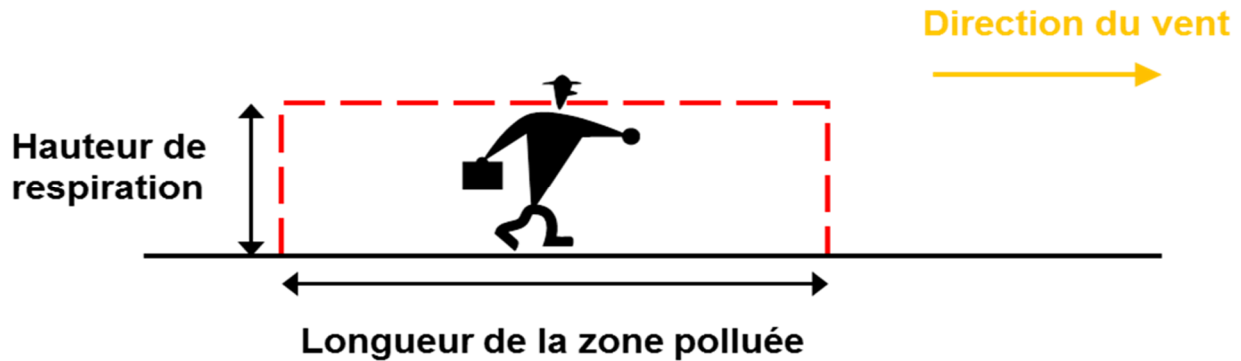
- la différence de pression entre les sols et l'air intérieur retenu est de 4 Pa (2 Pa entre les sols et le vide sanitaire et 2 Pa entre le vide sanitaire et l'environnement intérieur). Il s'agit de valeurs par défaut proposées par VOLASOIL (1996). Dans le cadre de l'analyse des incertitudes, on retiendra qu'en présence d'un vide sanitaire, le RIVM préconise de prendre une différence de pression entre le vide sanitaire et le sol de 1 Pa (report n°711701021 de mars 2001, Evaluation and revision of the CSOIL parameter set) ;
- les paramètres de perméabilité et de caractère diffusif de la dalle sont donnés en tête d'annexe ;
- les autres paramètres sont donnés dans le corps du rapport.

Les équations utilisées sont détaillées dans le rapport du RIVM n° 715810014 The VOLASOIL risk assessment model based on CSOIL for soils contaminated with volatils compounds, M.F.W Waitz, J.J Freijer, P Kreule, F.A. Swarjes, mai 1996. Elles ont été réécrites sous excel par nos soins.

Concentration de vapeur dans l'air extérieur

Dans l'air extérieur, la modélisation des expositions est conduite sur la base des équations de **Millington et Quirck** et de **l'équation de Fick**. La dilution par le vent est ensuite calculée dans une boîte de taille fixée. Comme pour l'air intérieur, la source de pollution est considérée comme infinie.

Le calcul des concentrations diluées par le vent est effectué à l'aide de l'équation générique utilisée dans le logiciel RISC (modèle boîte).



La concentration moyenne dans l'air extérieur est calculée de la façon suivante :

$$C_{ae} = \frac{J_{ae}}{v} \cdot \frac{L}{H} \quad (1)$$

Avec C_{ae} : concentration moyenne dans l'air extérieur ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) à la hauteur de l'organe respiratoire (H)
 J_{ae} : flux de polluant à l'interface sol/air extérieur ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$)
 L : longueur de la zone de mélange (correspondant à la longueur de la zone polluée) (en m)
 v : vitesse moyenne du vent (m/s)
 H : hauteur de la zone de mélange (m) correspondant à la hauteur de l'organe respiratoire de la cible

Le flux vers l'air extérieur J_{ae} ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$) est calculé à partir de l'équation de Fick, comme suit :

$$J_{ae} = D_{eff} \cdot \frac{\partial C}{\partial z} \quad (2)$$

Avec dC/dz : gradient de concentration ($\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{m}$) entre la concentration à la source et la surface
 D_{eff} (ici m^2/s) en le coefficient de diffusion effectif dans le sol .

La concentration dans les gaz du sol est si nécessaire calculée avec les équations (a), (b) et (c) présentées en début d'annexe. La diffusion effective est calculée à partir des caractéristiques des différentes couches de sol avec les équations (d), (e), (f) présentées en début d'annexe.

Enfin, en présence de recouvrement, ses caractéristiques diffusives sont prises en compte comme une couche de matériau poreux complémentaire.

Annexe 3-4.

Détails des calculs de dose et de risque

Cette annexe contient 2 pages.

Modélisation « Bâtiment sur vide-sanitaire avec logements aux étages (bureaux/commerces en RdC) »

							Inhalation air intérieur - VOLASOIL - air intérieur des lieux de vie								
	Effets toxiques sans seuil Concentrations moyennes de vapeurs inhalées (µg/m3)			Effets toxiques à seuil Concentrations moyennes de vapeurs inhalées (µg/m3)			Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)			Effets toxiques à seuil cancérigènes Quotient de danger (QD) spécifique			Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)		
	Adulte Travailleur	Adulte résident	Enfant résident	Adulte Travailleur	Adulte résident	Enfant résident	Adulte Travailleur	Adulte résident	Enfant résident	Adulte Travailleur	Adulte résident	Enfant résident	Adulte Travailleur	Adulte résident	Enfant résident
SUBSTANCES															
HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES															
Naphtalène	1.42E-04	5.08E-04	7.62E-05	2.26E-04	8.89E-04	8.89E-04	7.96E-10	2.84E-09	4.27E-10	non calculé	non calculé	non calculé	6.1E-06	2.4E-05	2.4E-05
COMPOSES AROMATIQUES MONOCYCLIQUES															
Benzène	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé
Toluène	5.68E-04	2.03E-03	3.05E-04	9.04E-04	3.56E-03	3.56E-03	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	4.8E-08	1.9E-07	1.9E-07
Ethylbenzène	4.26E-04	1.52E-03	2.29E-04	6.78E-04	2.67E-03	2.67E-03	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	4.5E-07	1.8E-06	1.8E-06
M+p-Xylène	1.28E-03	4.57E-03	6.86E-04	2.03E-03	8.00E-03	8.00E-03	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	2.0E-05	8.0E-05	8.0E-05
o-Xylène	4.26E-04	1.52E-03	2.29E-04	6.78E-04	2.67E-03	2.67E-03	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	6.8E-06	2.7E-05	2.7E-05
Cumène (isopropylbenzène)	2.84E-03	1.02E-02	1.52E-03	4.52E-03	1.78E-02	1.78E-02	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	1.1E-05	4.4E-05	4.4E-05
1,2,4-Triméthylbenzène (pseudocumène)	7.10E-03	2.54E-02	3.81E-03	1.13E-02	4.45E-02	4.45E-02	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	1.9E-04	7.4E-04	7.4E-04
1,3,5-Triméthylbenzène (mesitylène)	2.84E-03	1.02E-02	1.52E-03	4.52E-03	1.78E-02	1.78E-02	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	7.5E-05	3.0E-04	3.0E-04
HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH															
Aliphatic nC>5-nC6	1.28E+00	4.59E+00	6.88E-01	2.04E+00	8.03E+00	8.03E+00	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	6.8E-04	2.7E-03	2.7E-03
Aliphatic nC>6-nC8	9.38E-01	3.35E+00	5.03E-01	1.49E+00	5.87E+00	5.87E+00	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	5.0E-04	2.0E-03	2.0E-03
Aliphatic nC>8-nC10	2.56E-02	9.14E-02	1.37E-02	4.07E-02	1.60E-01	1.60E-01	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	4.1E-05	1.6E-04	1.6E-04
Aliphatic nC>10-nC12	1.14E-03	4.06E-03	6.10E-04	1.81E-03	7.11E-03	7.11E-03	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	1.8E-06	7.1E-06	7.1E-06
Aliphatic nC>12-nC16	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé
Aliphatic nC>16-nC35	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé
Aliphatic nC>35	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé
Aromatic nC>5-nC7 (benzène)	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé
Aromatic nC>7-nC8 (toluène)	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé
Aromatic nC>8-nC10	1.56E-02	5.59E-02	8.38E-03	2.49E-02	9.78E-02	9.78E-02	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	1.2E-04	4.9E-04	4.9E-04
Aromatic nC>10-nC12	2.84E-03	1.02E-02	1.52E-03	4.52E-03	1.78E-02	1.78E-02	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	2.3E-05	8.9E-05	8.9E-05
Aromatic nC>12-nC16	1.42E-05	5.08E-05	7.62E-06	2.26E-05	8.89E-05	8.89E-05	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	1.1E-07	4.4E-07	4.4E-07
Aromatic nC>16-nC21	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé
Aromatic nC>21-nC35	4.26E-10	1.52E-09	2.29E-10	6.78E-10	2.67E-09	2.67E-09	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé
COMPOSES ORGANO-HALOGENES VOLATILS															
Tétrachloroéthylène (PCE)	7.10E-08	2.54E-07	3.81E-08	1.13E-07	4.45E-07	4.45E-07	1.85E-14	6.60E-14	9.91E-15	non calculé	non calculé	non calculé	2.8E-10	1.1E-09	1.1E-09
Chloroforme (TCmA)	4.26E-07	1.52E-06	2.29E-07	6.78E-07	2.67E-06	2.67E-06	non calculé	non calculé	non calculé	1.1E-08	4.2E-08	4.2E-08	6.9E-09	2.7E-08	2.7E-08
TOTAL	2.28E+00	8.16E+00	1.22E+00	3.63E+00	1.43E+01	1.43E+01	7.96E-10	2.84E-09	4.27E-10	1.1E-08	4.2E-08	4.2E-08	0.002	0.007	0.007

Modélisation « Parvis en extérieur »

SUBSTANCES	Inhalation air extérieur avec recouvrement									
	Effets toxiques sans seuil Concentrations moyennes de vapeurs inhalées (µg/m3)		Effets toxiques à seuil Concentrations moyennes de vapeurs inhalées (µg/m3)		Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)		Effets toxiques à seuil cancérigènes Quotient de danger (QD) spécifique		Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)	
	Adulte de passage	Enfant de passage	Adulte de passage	Enfant de passage	Adulte de passage	Enfant de passage	Adulte de passage	Enfant de passage	Adulte de passage	Enfant de passage
HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES										
Naphtalène	5.38E-05	1.21E-05	9.41E-05	1.41E-04	3.01E-10	6.78E-11	non calculé	non calculé	2.54E-06	3.82E-06
COMPOSES AROMATIQUES MONOCYCLIQUES										
benzène	2.10E-02	4.72E-03	3.67E-02	5.50E-02	5.45E-07	1.23E-07	non calculé	non calculé	3.67E-03	5.50E-03
toluène	3.95E-02	8.89E-03	6.92E-02	1.04E-01	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	3.64E-06	5.46E-06
ethylbenzène	5.78E-03	1.30E-03	1.01E-02	1.52E-02	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	6.74E-06	1.01E-05
M+p-Xylène	1.22E-02	2.75E-03	2.14E-02	3.20E-02	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	2.14E-04	3.20E-04
o-Xylène	5.80E-03	1.31E-03	1.02E-02	1.52E-02	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	1.02E-04	1.52E-04
cumène (isopropylbenzène)	1.25E-03	2.81E-04	2.19E-03	3.28E-03	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	5.46E-06	8.19E-06
1,2,4 Triméthylbenzène(pseudocumène)	2.61E-03	5.87E-04	4.56E-03	6.84E-03	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	7.61E-05	1.14E-04
1,3,5 Triméthylbenzène (mesitylène)	8.88E-04	2.00E-04	1.55E-03	2.33E-03	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	2.59E-05	3.89E-05
HYDROCARBURES SUIVANT LES TPH										
Aliphatic nC>5-nC6	1.09E+00	2.45E-01	1.91E+00	2.86E+00	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	6.35E-04	9.53E-04
Aliphatic nC>6-nC8	7.96E-01	1.79E-01	1.39E+00	2.09E+00	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	4.64E-04	6.96E-04
Aliphatic nC>8-nC10	2.14E-02	4.81E-03	3.74E-02	5.61E-02	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	3.74E-05	5.61E-05
Aliphatic nC>10-nC12	9.47E-04	2.13E-04	1.66E-03	2.49E-03	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	1.66E-06	2.49E-06
Aliphatic nC>12-nC16	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé
Aliphatic nC>16-nC35	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé
Aliphatic nC>35	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé
Aromatic nC>5-nC7 (benzène)	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé
Aromatic nC>7-nC8 (toluène)	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé
Aromatic nC>8-nC10	1.69E-02	3.80E-03	2.95E-02	4.43E-02	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	1.48E-04	2.21E-04
Aromatic nC>10-nC12	2.75E-03	6.19E-04	4.82E-03	7.23E-03	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	2.41E-05	3.61E-05
Aromatic nC>12-nC16	1.70E-05	3.83E-06	2.98E-05	4.47E-05	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	1.49E-07	2.24E-07
Aromatic nC>16-nC21	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé
Aromatic nC>21-nC35	1.94E-10	4.37E-11	3.40E-10	5.10E-10	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé	non calculé
COMPOSES ORGANO-HALOGENES VOLATILS										
tétrachloroéthylène (PCE)	6.64E-08	1.49E-08	1.16E-07	1.74E-07	1.73E-14	3.88E-15	non calculé	non calculé	2.90E-10	4.36E-10
chloroforme (TCmA)	3.17E-07	7.14E-08	5.56E-07	8.33E-07	non calculé	non calculé	8.8192E-09	1.32287E-08	5.67E-09	8.50E-09
TOTAL	2.02E+00	4.54E-01	3.53E+00	5.29E+00	5.45E-07	1.23E-07	8.8E-09	1.3E-08	0.005	0.008

Annexe 4. Glossaire

Cette annexe contient 2 pages.

AEA (Alimentation en Eau Agricole) : Eau utilisée pour l'irrigation des cultures

AEI (Alimentation en Eau Industrielle) : Eau utilisée dans les processus industriels

AEP (Alimentation en Eau Potable) : Eau utilisée pour la production d'eau potable

ARIA (Analyse, Recherche et Information sur les Accidents) : base de données répertorie les incidents ou accidents qui ont, ou auraient, pu porter atteinte à la santé ou la sécurité publiques ou à l'environnement.

ARR (Analyse des risques résiduels) : Il s'agit d'une estimation par le calcul (et donc théorique) du risque résiduel auquel sont exposées des cibles humaines à l'issue de la mise en œuvre de mesures de gestion d'un site. Cette évaluation correspond à une EQRS.

ARS (Agence régionale de santé) : Les ARS ont été créées en 2009 afin d'assurer un pilotage unifié de la santé en région, de mieux répondre aux besoins de la population et d'accroître l'efficacité du système.

BASIAS (Base de données des Anciens Sites Industriels et Activités de Service) : Cette base de données gérée par le BRGM recense de manière systématique les sites industriels susceptibles d'engendrer une pollution de l'environnement.

BASOL : Base de données gérée par le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie recensant les sites et sols pollués ou potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif.

Biocentre : Ces installations sont classées pour la protection de l'environnement et sont soumises à autorisation préfectorale. Elles prennent en charge les déchets en vue de leur traitement basé sur la biodégradation aérobie de polluants chimiques.

BTEX (Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes) : Les BTEX (Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylènes) sont des composés organiques mono-aromatiques volatils qui ont des propriétés toxiques.

COHV (Composés organo-halogénés volatils) : Solvants organiques chlorés aliphatiques volatils qui ont des propriétés toxiques et sont ou ont été couramment utilisés dans l'industrie.

DREAL (Directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement) : Cette structure régionale du ministère du Développement durable pilote les politiques de développement durable résultant notamment des engagements du Grenelle Environnement ainsi que celles du logement et de la ville.

Eluat : voir lixiviation

EQRS (Evaluation quantitative des risques sanitaires) : Il s'agit d'une estimation par le calcul (et donc théorique) des risques sanitaires auxquels sont exposées des cibles humaines.

ERI (Excès de risque individuel) : correspond à la probabilité que la cible a de développer l'effet associé à une substance cancérigène pendant sa vie du fait de l'exposition considérée. Il s'exprime sous la forme mathématique suivante 10^{-n} . Par exemple, un excès de risque individuel de 10^{-5} représente la probabilité supplémentaire, par rapport à une personne non exposée, de développer un cancer pour 100 000 personnes exposées pendant une vie entière.

ERU (Excès de risque unitaire) : correspond à la probabilité supplémentaire, par rapport à un sujet non exposé, qu'un individu contracte un cancer s'il est exposé pendant sa vie entière à une unité de dose de la substance cancérigène.

HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques) : Ces composés constitués d'hydrocarbures cycliques sont générés par la combustion de matières fossiles. Ils sont peu mobiles dans les sols.

HAM (Hydrocarbures aromatiques monocycliques) : Ces hydrocarbures constitués d'un seul cycle aromatiques sont très volatils, les BTEX* sont intégrés à cette famille de polluants..

HCT (Hydrocarbures Totaux) : Il s'agit généralement de carburants pétroliers dont la volatilité et la mobilité dans le milieu souterrain dépendent de leur masse moléculaire (plus ils sont lourds, c'est-à-dire plus la chaîne carbonée est longue, moins ils sont volatils et mobiles).

IEM (Interprétation de l'état des milieux) : au sens des textes ministériels du 8 février 2007, l'IEM est une étude réalisée pour évaluer la compatibilité entre l'état des milieux (susceptibles d'être pollués) et les usages effectivement constatés, programmés ou potentiels à préserver. L'IEM peut faire appel dans certains cas à une grille de calcul d'EQRS spécifique.

ISDI (Installation de Stockage de Déchets Inertes) : Ces installations sont classées pour la protection de l'environnement sous le régime de l'enregistrement. Ce type d'installation permet l'élimination de déchets industriels inertes par dépôt ou enfouissement sur ou dans la terre. Sont considérés comme déchets inertes ceux répondant aux critères de l'arrêté ministériel du 12 décembre 2014.

ISDND (Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux) : Ces installations sont classées pour la protection de l'environnement et sont soumises à autorisation préfectorale. Cette autorisation précise, entre autres, les capacités de stockage maximales et annuelles de l'installation, la durée de l'exploitation et les superficies de l'installation de la zone à exploiter et les prescriptions techniques requises.

ISDD (Installation de Stockage de Déchets Dangereux) : Ces installations sont classées pour la protection de l'environnement et sont soumises à autorisation préfectorale. Ce type d'installation permet l'élimination de déchets dangereux, qu'ils soient d'origine industrielle ou domestique, et les déchets issus des activités de soins.

Lixiviation : Opération consistant à soumettre une matrice (sol par exemple) à l'action d'un solvant (en général de l'eau). On appelle lixiviat la solution obtenue par lixiviation dans le milieu réel (ex : une décharge). La solution obtenue après lixiviation d'un matériau au laboratoire est appelée un éluat.

PCB (Polychlorobiphényles) : L'utilisation des PCB est interdite en France depuis 1975 (mais leur usage en système clos est toléré). On les rencontre essentiellement dans les isolants diélectriques, dans les transformateurs et condensateurs individuels. Ces composés sont peu volatils, peu solubles et peu mobiles.

Plan de Gestion : démarche définie par les textes ministériels du 8 février 2007 visant à définir les modalités de réhabilitation et d'aménagement d'un site pollué.

QD (Quotient de danger) : Rapport entre l'estimation d'une exposition (exprimée par une dose ou une concentration pour une période de temps spécifiée) et la VTR* de l'agent dangereux pour la voie et la durée d'exposition correspondantes. Le QD (sans unité) n'est pas une probabilité et concerne uniquement les effets à seuil.

VTR (Valeur toxicologique de référence) : Appellation générique regroupant tous les types d'indices toxicologiques qui permettent d'établir une relation entre une dose et un effet (toxique à seuil d'effet) ou entre une dose et une probabilité d'effet (toxique sans seuil d'effet). Les VTR sont établies par des instances internationales (l'OMS ou le CIPR, par exemple) ou des structures nationales (US-EPA et ATSDR aux Etats-Unis, RIVM aux Pays-Bas, Health Canada, ANSES en France, etc.).

VLEP (Valeur Limite d'Exposition Professionnelle) : Valeur limite d'exposition correspondant à la valeur réglementaire de concentration dans l'air de l'atmosphère de travail à ne pas dépasser durant plus de 8 heures (VLEP 8H) ou 15 minutes (VLEP CT) ; la VLEP 8H peut être dépassée sur de courtes périodes à condition de ne pas dépasser la VLEP CT.