
- MAIRIE DE ROSCOFF -

-Site du futur Centre Nautique-
Rue Jeanne d'Arc à ROSCOFF (29)

PLAN DE GESTION

Equipe projet : **Frank KARG**
Président d'HPC International
Superviseur

Lucie ROBIN VIGNERON
Guénoé ROUE
Directeurs de projets

Margaux GRELIER
Chargée de projets

Rapport HPC-I 8210124 a
En date du 18 janvier 2022

SUIVI DES MODIFICATIONS

RAPPORT		
VERSION		MODIFICATIONS
Indice	Date	
0	18/01/2022	<ul style="list-style-type: none">• Première émission du document

ANNEXES			
VERSION		INTITULE	MODIFICATIONS
Indice	Date		
0	18/01/2022	ANNEXES	<ul style="list-style-type: none">• Première émission du document

RESUME NON TECHNIQUE

Dans la perspective de la construction d'un centre nautique rue Jeanne d'Arc à Roscoff (29), la Mairie de Roscoff souhaite réaliser des terrassements sur le polder, aménagé entre 1989 et 1985 et partiellement remblayé sur une hauteur d'environ 3 m.

La Mairie de Roscoff a mandaté notre société HPC INTERNATIONAL pour la réalisation d'investigations préalablement à ces travaux, d'une Analyse des risques sanitaires (rapport HPC-I 8210122 du 21 décembre 2021) et la réalisation d'un Plan de Gestion basé sur ces études initiales, objet du présent rapport.

Les investigations réalisées par HPC INTERNATIONAL de septembre à décembre 2021 ont montré, sur l'emprise du futur bâtiment, l'existence d'un impact en Eléments Traces Métalliques (en particulier Arsenic et Plomb), en HAP (notamment en Benzo(a)pyrène) dans les sols et en Méthane, BTEX et HC5-16 dans les gaz du sol.

Des **seuils de coupure des sources de pollution** pour ces substances (Arsenic, Plomb et Benzo(a)pyrène) ont été définis et représentent les concentrations maximales après recouvrement des zones sources de pollutions concentrées par des matériaux sains (sols sains ou couverture minérale).

Basée sur ces seuils de coupure et sur les concentrations résiduelles théoriques après recouvrement, une Analyse des Risques sanitaires Résiduels, a permis de conclure que les niveaux de risques cancérigènes et non cancérigènes sont inférieurs aux limites acceptables respectivement de 1,00E-05 et 1,00. **Ce résultat a permis de valider les seuils de coupure des sources de pollution et donc les techniques de dépollution préalablement envisagées.**

L'étude technico-économique et le bilan coûts-avantages des différentes options de traitement ont permis de sélectionner comme les plus pertinents :

- **un traitement des sols en 3 phases** : traitement des sols par excavations des zones sources de pollutions au droit du future Centre Nautique lors des travaux de construction du bâtiment et évacuation des sols et matériaux en centre(s) de traitement agréé(s). Concernant le reste du site : Décapage et recouvrement sain (asphalte + sous-couche, béton, terre végétale >30 cm, etc.) pour la réalisation des tranchées VRD, des parkings et la zone du Cirque, et dans les zones d'espaces verts où les seuils de coupure sont dépassés. L'application et la maintenance de ces recouvrements sont à assurer via des Servitudes des restrictions des usages du sous-sol (SUP).
- **Pour les gaz du sol** : Mise en place de drainages de gaz et/ou Vides sanitaires ventilés avec évacuation des gaz sous ATEX (système double avec report d'alarme et maintenance

régulière). Par ailleurs, l'étanchéification du Centre Nautique doit être assurée. Une surveillance mensuelle des CH₄, BTEX et HC5-16 est recommandée pendant 1 an et trimestriellement ensuite. L'application et la maintenance de ces dispositifs constructifs sont aussi à assurer via des Servitudes de maintenance (SUP).

Préconisations HSE durant le chantier :

- ❖ En raison des dres concernant un dépôt historique d'amiante en sous-sol et malgré l'absence d'identification lors des investigations, un **mode opératoire SS4** et le cas échéant en cas de découvertes : un plan de retrait (SS3) devront être appliquées pour tous travaux d'excavations ou de décapages,
- ❖ **Surveillance des CH₄, BTEX et HC5-16** dans les Gaz du sol et l'air ambiant et également l'**amiante** dans l'air ambiant (assurer des teneurs inférieures aux valeurs limites),
- ❖ Surveillance dans les fouilles des LIE (**Méthane**) par explosimètre en permanence lors de la réalisation des travaux,
- ❖ En cas de concentrations supérieures à 0,1 LIE : Mesures d'insufflation (ou extraction) de l'air dans les fouilles pour la continuité des excavations jusqu'à obtenir des concentrations inférieures à 0,1 LIE (Limite inférieure d'explosion),
- ❖ Dans le cas d'excavations et forages dans les sédiments du port à un niveau inférieur au remblaiement de 1990, réalisation au préalable de **détections des risques pyrotechniques** (cette détection est nécessaire concernant les excavations pour des fondations de la cale et concernant des forages pour les pieux des fondations).

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	7
2. CARACTERISATION DES SOURCES DE POLLUTIONS CONCENTREES.....	8
2.1. SYNTHESE DES INVESTIGATIONS	8
2.2. CARACTERISATION DES SOURCES DE POLLUTION CONCENTREES	10
3. DEFINITION DES SEUILS DE COUPURE DE DEPOLLUTION.....	11
3.1. GENERALITES.....	11
3.2. DEFINITION DES SEUILS DE COUPURE DANS LES SOLS	13
3.3. DEFINITION DES SEUILS DE COUPURE DANS LES GAZ DU SOL.....	13
4. VALIDATION DES SEUILS DE COUPURE PAR UNE ARR	14
4.1.1. VOIES DE TRANSFERT CONSIDEREES.....	14
4.1.2. VOIES D'EXPOSITION - SCHEMA CONCEPTUEL.....	14
4.1.3. SELECTION DES SUBSTANCES PRISES EN COMPTE	16
4.1.4. IDENTIFICATION DES DANGERS POTENTIELS DES SUBSTANCES CONSIDEREES	16
4.2. SCENARIOS D'USAGE ET D'EXPOSITION.....	19
4.2.1. BUDGET ESPACE-TEMPS	19
4.2.2. CONCENTRATIONS PRISES EN COMPTE DANS LES CALCULS	19
4.2.3. CALCUL DES DOSES JOURNALIERES ET CONCENTRATIONS D'EXPOSITION (DJE ET CE).....	20
4.2.4. QUANTIFICATION DES RISQUES SANITAIRES	21
4.2.5. DETERMINATION DES VALEURS TOXICOLOGIQUES DE RELATION DOSE - EFFETS	21
4.2.6. PRINCIPES DE QUANTIFICATION DES RISQUES SANITAIRES.....	27
4.2.7. RESULTATS DE LA QUANTIFICATION DES RISQUES SANITAIRES APRES RECOUVREMENT DES ZONES SOURCES DE POLLUTIONS.....	28
5. PLAN DE GESTION	29
5.1. USAGE FUTUR ENVISAGE	29
5.2. PRINCIPES GENERAUX.....	29
5.3. OBJECTIFS DES MESURES DE GESTION	30
5.4. BILAN COUTS-AVANTAGES	31
5.5. OPTIONS DE GESTION RETENUES POUR LE TRAITEMENT	33
6. CONCLUSION	35

ANNEXES

● ANNEXE 1 : LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DU SITE

● ANNEXE 2 : CARTOGRAPHIES DES RESULTATS DES INVESTIGATIONS

- ANNEXE 2.1 : CARTOGRAPHIES DES RESULTATS DANS LES SOLS
- ANNEXE 2.2 : CARTOGRAPHIES DES RESULTATS DANS LES GAZ DU SOL
- ANNEXE 2.3 : CARTOGRAPHIE DES RESULTATS D'AIR AMBIANT
- ANNEXE 2.4 : CARTOGRAPHIES DES RESULTATS DANS L'EAU FOND DE FOUILLE ET EAU SOUTERRAINE

● ANNEXE 3 : ANALYSE DES RISQUES SANITAIRES RESIDUELS (ARR)

- ANNEXE 3.1 : DESCRIPTION DU MODELE UTILISE POUR L'EVALUATION DE L'EXPOSITION ET LA QUANTIFICATION DES RISQUES SANITAIRES
- ANNEXE 3.2 : PARAMETRES UTILISES POUR LA MODELISATION DES TRANSFERTS ET DES EXPOSITIONS
- ANNEXE 3.3 : EQUATIONS UTILISEES POUR LA MODELISATION DES EXPOSITIONS ET LA QUANTIFICATION DES RISQUES SANITAIRES
- ANNEXE 3.4 : DOSES JOURNALIERES D'EXPOSITION (DJE) ET CONCENTRATIONS D'EXPOSITION (CE)
- ANNEXE 3.5 : VALEURS TOXICOLOGIQUES DE REFERENCE
- ANNEXE 3.6 : REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

● ANNEXE 4 : ZONES PREVISIONNELLES DE TRAITEMENTS DES SOLS

1. Introduction

Dans la perspective de la construction d'un centre nautique rue Jeanne d'Arc à Roscoff (29), la Mairie de Roscoff souhaite réaliser des terrassements sur le polder, aménagé entre 1989 et 1985 et partiellement remblayé sur une hauteur d'environ 3 m.

La Mairie de Roscoff a mandaté notre société HPC INTERNATIONAL pour la réalisation d'investigations préalablement à ces travaux, d'une Analyse des risques sanitaires (rapport HPC-I 8210122 du 21 décembre 2021) et la réalisation d'un Plan de Gestion basé sur ces études initiales, objet du présent rapport.

Les investigations qui ont été menées sur l'emprise du futur bâtiment du centre nautique, ont montré l'existence d'un impact des sols principalement par des métaux et HAP et des gaz des sols par du méthane.

Cette étude a été réalisée conformément à la norme NFX 31-620-2 « Prestations de services relatives aux sites et sols pollués (études, ingénierie, réhabilitation de sites pollués et travaux de dépollution) » de l'AFNOR (prestations codifiées A320 et A330 - décembre 2018) ainsi qu'à la méthodologie relative à la gestion des sites et sols pollués (avril 2017). Conformément à cette méthodologie, le Plan de Gestion comporte les étapes suivantes :

1. La localisation, la quantification des polluants et la caractérisation de leur mobilité : définition des sources de pollutions concentrées,
2. La définition des seuils de coupure des sources de pollution tenant compte des mesures de gestion possibles et de traitement de la pollution,
3. Le bilan coûts-avantages pour le choix des scénarios de gestion,
4. La validation sanitaire démontrée par la réalisation d'une Analyse des Risques Résiduels prédictive compte tenu des niveaux de pollutions résiduelles attendus et des mesures constructives,
5. La mise en œuvre des outils de conservation de la mémoire et de restriction d'usage qui peuvent s'avérer nécessaire, la surveillance des milieux éventuellement requise, la gestion des terres excavées le cas échéant.

2. Caractérisation des sources de pollutions concentrées

2.1. Synthèse des investigations

Les investigations ont été réalisées de septembre à décembre 2021 (cf. le rapport HPC-I 8210122 a, du 21/12/2021) et ont conduit aux résultats suivants :

Sols

Voir également les cartographies en Annexe 2.1

Les sondages et les prélèvements ont été réalisés sur l'emprise du futur bâtiment du centre nautique. Les résultats montrent la présence de teneurs significatives en Eléments Traces Métalliques (Arsenic, Cuivre, Mercure, Plomb et Zinc) entre 0,0 m et 5,0 m de profondeur dans les remblais et les sols, en Hydrocarbures C₁₀-C₄₀ et en Hydrocarbures Aliphatiques Polycycliques (HAP) notamment en Benzo(a)pyrène au droit de S1. Concernant le reste des substances analysées (Polychlorobiphényles (PCB), Pesticides Organochlorés et BTEX), les teneurs restent faibles voir inférieures aux seuils de quantification du laboratoire.

Les résultats analytiques obtenus sur les échantillons de sols bruts et leurs éluats (lixiviats) respectifs ont été comparés aux critères et les procédures d'admission des déchets et révèlent : des dépassements des critères d'acceptation ISDI (Installations de Stockage de Déchets Inertes) au droit de S1, S5, S9, S11, S16 et S17 (2-3 m).

En raison de la suspicion de présence d'amiante dans les remblais du site, un mode opératoire Sous-Section 4 (de protection contre le risque de présence d'amiante) a été mise en place lors des sondages. Les résultats analytiques montrent l'absence d'amiante sur la zone d'emprise du futur bâtiment.

Cependant, en raison des dires concernant un dépôt historique d'amiante en sous-sol et malgré l'absence d'identification lors des investigations, un **mode opératoire SS4** et le cas échéant en cas de découvertes : un plan de retrait (SS3) devront être appliquées pour tous les travaux en sous-sol sur l'ensemble du site.

Gaz du sol

Voir également les cartographies en Annexe 2.2

Les premières investigations des gaz du sol, réalisées à la canne gaz, montrent la présence d'une teneur élevée en méthane au droit du Pa8bis sur la zone d'emprise du futur bâtiment.

Afin de vérifier cette teneur, 6 piézairs ont été installés en novembre 2021 et de nouvelles mesures ont été réalisées à marée haute et à marée basse.

Les résultats des prélèvements dans les piézairs ont permis de confirmer la présence de poches de Méthane dans le sous-sol **au droit de Pa8bis** (14 000 ppmV), **Pa16 PM** (66 ppmV), **Pa16 BM** (85 ppmV) et **Pa11** (33 ppmV). **La valeur de 14 000 ppmV correspond à presque 30 % de la LIE (Limite inférieure d'Explosion du Méthane, qui est de 5 % Volume).**

A noter également la présence d'Hydrocarbures C₅-C₁₆ et de BTEX sur le site ainsi que la présence ponctuelle de Chloroforme au droit de Pa10, Pa16 PM et Pa17 PM et de Tétrachloroéthylène au droit de Pa16 BM et Pa17 PM, à des teneurs inférieures aux valeurs limites ou recommandées. Les teneurs mesurées pour l'ensemble des autres solvants chlorés et pour les alcools sont inférieures à la limite de quantification.

Remarque : Les concentrations en polluants et en méthane dans les gaz du sol semblent être très fortement dépendantes des marées, car le marnage se transmet immédiatement dans la zone remblayée investiguée, ce qui influence aussi des mouvements des gaz du sol.

Air ambiant

Voir également les cartographies en Annexe 2.3

Des mesures d'air ambiant ont été réalisées par la société DEKRA, sous contrôle d'HPC INTERNATIONAL afin de déterminer la concentration en fibres d'amiante en suspension dans l'air. Aucune fibre d'amiante n'a été détecté lors des sondages d'investigations.

Des prélèvements d'air ambiant complémentaires ont également été réalisées par note société HPC INTERNATIONAL afin de contrôler la qualité de l'air (COHV, BTEX, ETM, HC : Hydrocarbures) et l'exposition des opérateurs durant les travaux. L'ensemble des substances mesurées présentent des concentrations inférieures aux valeurs de référence voir inférieures au seuil de quantification du laboratoire.

Eaux souterraines

Voir également les cartographies en Annexes 2.4

La qualité des eaux fond de fouille du sondage S6 du site a mis en évidence la présence significative en Eléments Traces Métallique (Arsenic, Nickel et Plomb) et Benzo(a)pyrène. Des teneurs faibles voir inférieures au seuil de quantification du laboratoire ont été relevées au droit du piézomètre Pz1 pour l'ensemble des substances.

2.2. Caractérisation des sources de pollution concentrées

Les sources de pollutions concentrées ont été identifiées principalement dans les sols et les gaz du sol, comme le montrent les cartes d'isoconcentrations des Annexes 2.1 et 2.2. Sont identifiées en particulier :

Dans les sols

Des sources de pollutions concentrées en Eléments Traces Métalliques (en particulier Arsenic et Plomb) et Benzo(a)pyrène en bordure Sud et Sud-est au droit de l'emprise du futur bâtiment.

Les résultats analytiques des sols montrent l'absence d'amiante sur la zone d'emprise du futur bâtiment. Cependant, en raison des doutes concernant un dépôt historique d'amiante en sous-sol et malgré l'absence d'identification lors des investigations, un **mode opératoire SS4** et le cas échéant en cas de découvertes : un plan de retrait (SS3) devront être appliqués pour tous les travaux en sous-sol sur l'ensemble du site.

L'objectif du plan de gestion est de proposer différentes méthodes de traitement in-situ et ex situ des sols et valider la plus pertinente pour ce milieu.

Dans les gaz du sol

Des sources de pollutions concentrées en Méthane dans le sous-sol au droit de l'emprise du futur bâtiment. Les concentrations en polluants et en méthane dans les gaz du sol semblent être très fortement dépendantes des marées, car le marnage se transmet immédiatement dans la zone remblayée investiguée, ce qui influence aussi des mouvements des gaz du sol. Il faudra donc mettre en place des mesures HSE particulières lors des travaux (cf. §5.4 et §5.5).

L'objectif du plan de gestion pour les gaz du sol est de mettre en place des modalités constructives permettant d'éviter l'accumulation de Méthane

Concernant la présence d'Hydrocarbures HC₅-HC₁₆, de BTEX (et de faibles présences des COHV) dans les gaz du sol il ne s'agit pas de pollutions concentrées mais de pollutions diffuses qui ne nécessitent pas un traitement spécifique. Ces paramètres seront toutefois suivis lors du monitoring post travaux (cf. chapitre 5).

3. Définition des seuils de coupure de dépollution

3.1. Généralités

La définition des seuils de coupure des sources de pollution est basée sur au minimum deux principes :

- La réduction significative, voire l'élimination des Sources de Pollution et
- L'assurance de Risques Résiduels acceptables.

Selon la Méthodologie Nationale de la Gestion des Sites Pollués (MNGSP) du Ministère chargé de l'environnement du 19.04.17 et suite aux investigations de terrain, l'identification et la quantification des sources de pollution et des pollutions concentrées doit se faire par les constats de terrain et les indices organoleptiques (cf. MNGSP § 3.2.1 a) et complétés par les méthodes suivantes :

- l'utilisation d'une méthode d'interprétation cartographique (cf. MNGSP § 3.2.1 c) ;
- la réalisation d'un bilan massique (cf. MNGSP § 3.2.1 d).

L'objectif de ces méthodes est de déterminer un seuil de coupure « théorique » au-dessus duquel il serait intrinsèquement intéressant de traiter les sols pollués en retirant un maximum de la masse de polluant, tout en ne traitant qu'un volume de sol limité. Ces seuils de coupure sont évalués indépendamment :

- de la mobilité de polluants ;
- des techniques de dépollutions disponibles ;
- des usages du site, des aménagements actuels ou futur ;
- des objectifs de qualité des milieux ;
- des risques sanitaires ;
- des aspects financiers.

Afin de valider les seuils de coupure, les conditions suivantes pourront être respectées sur l'ensemble de la zone d'étude :

- compte tenu des usages actuels ou futur du site et des éventuelles restrictions mises en œuvre, les pollutions résiduelles laissées en place dans le sous-sol permettent le respect des objectifs de qualité des milieux ou conduisent à des **Analyses des Risques Résiduels (ARR) prédictives acceptables ;**

- **l'absence de capacité de relargage** des sols au droit du site entraînant une dégradation significative de la qualité des eaux souterraines (contraires aux dispositions de l'arrêté ministériel du 17 juillet 2009 relatif aux mesures de prévention ou de limitation des introductions de polluants dans les eaux souterraines) ;
- **une qualité des eaux comparable entre l'amont et l'aval** pour les substances liées à l'activité actuelle ou historique menée sur le site (détermination des mesures adaptées de traitement de l'impact sur la base d'un Bilan Coût-Avantages) ;
- **le traitement des volumes limités de sol** présentant la masse de polluant la plus importante (c'est-à-dire les sols dont les concentrations sont supérieures au seuil de coupure théorique) est financièrement acceptable au regard du Bilan Coût-Avantage.

Lorsque les graphiques ne permettent pas de mettre en évidence des seuils de coupure, cela peut correspondre :

- à la présence de **zones de pollutions ponctuelles**. La démarche est alors à mettre en œuvre au niveau de chacune de ces zones, en adaptant si nécessaire les diagnostics. Des seuils spécifiques à chacune des zones peuvent ainsi être identifiés, ce qui permet de les traiter indépendamment les unes des autres et de hiérarchiser les mesures de gestion ;
- à une **pollution généralisée et homogène**, par exemple dans le cas de pollutions aux métaux et métalloïdes dans les remblais.

Les traitements in situ ou sur site :

Selon la Méthodologie Nationale de la Gestion des Sites Pollués (MNGSP) du Ministère Chargé de l'Environnement, du 19.04.2017 (cf. MNGSP § 3.4.1), quelle que soit la nature du polluant et dans le respect des principes de l'économie circulaire, les traitements in situ ou sur site, qui limitent la production et le transport de déchets, doivent être privilégiés.

Les traitements in situ correspondent aux actions menées directement dans le sous-sol, donc sans excavation de celui-ci. Il peut s'agir soit d'extraire des polluants en phase pure ou dans des matrices liquide ou gazeuse, soit de les dégrader ou de les fixer dans les milieux concernés. Dans la mesure où les actions sont réalisées dans le sous-sol, la nature de ce dernier est un facteur limitant qui doit être évalué et pris en compte. A contrario, ces traitements sont avantageux pour le traitement des sources de pollutions sous des bâtiments que l'on souhaite conserver ou sous des couvertures minérales ou de terre végétale pérennes et surveillées.

3.2. Définition des Seuils de Coupure dans les sols

Les pollutions suivantes ont été identifiées dans la zone d'étude : **présence d'un impact en Eléments Traces Métalliques (en particulier Arsenic et Plomb) et en HAP (benzo(a)pyrène) dans les sols**. Les seuils de coupure définis pour ces substances sont les concentrations maximales après recouvrement des zones sources de pollutions concentrées par des matériaux sains (sols sains ou couverture minérale).

Le tableau ci-dessous présente pour les polluants principaux les seuils de coupure dans les sols **pour un usage ERP (Etablissement recevant du Public)**. Les Concentrations Maximales Admissibles calculées via une ARR sont présentées dans le tableau à titre indicatif, comme valeurs de contrôle au-delà desquelles les risques sanitaires peuvent devenir inacceptables :

Polluant	Concentration maximale dans sols 2021 (mg/kg)	Seuils de coupure après traitement des zones sources de pollutions concentrées (mg/kg)	Concentration Maximale Admissible calculées via une ARR pour un usage ERP (valeur de contrôle) (mg/kg)
Arsenic (As)	80,9	28,3	30
Plomb (Pb)	72,8	59,1	60
Benzo(a)pyrène	6,3	0,41	5

3.3. Définition des Seuils de Coupure dans les gaz du sol

La pollution suivante a été identifiée dans la zone d'étude : **présence d'un impact en Méthane dans les gaz du sol**. Cette substance ne disposant pas de Valeur Toxicologique de Référence, la seule valeur de contrôle disponible est la **LIE de 5 % Vol.** (Limite inférieure d'Explosion du Méthane, en % Volume). Le seuil de coupure après traitement (recouvrement sous servitudes, etc.) doit assurer au moins 90 % d'abattement de la LIE. Ainsi 0,1 LIE (soit max 0,5% Vol.) a été définie comme **seuil de coupure** pour le Méthane.

4. Validation des seuils de coupure par une ARR

Une validation des seuils de coupure des sources de pollution par une Analyse des Risques sanitaires Résiduels (ARR) préventive a été réalisée afin de s'assurer de la compatibilité sanitaire des teneurs théoriques résiduelles après dépollution. Les seuils de coupure proposés aux paragraphes 3.2 et 3.3 ont été considérés comme les concentrations résiduelles maximales dans les sols pour les polluants considérés, et intégrés aux calculs de risques sanitaires en considérant les hypothèses suivantes :

- un scénario sensible **ERP Etablissement Recevant du Public** (présence d'adultes et d'enfants).
- un recouvrement théorique des zones de dépassement des seuils de coupure par une couverture minérale, un bâtiment et/ou une couche de terre végétale propre sur une épaisseur minimale de 30 cm (grillage avertisseur),
- l'absence d'usage des eaux souterraines.

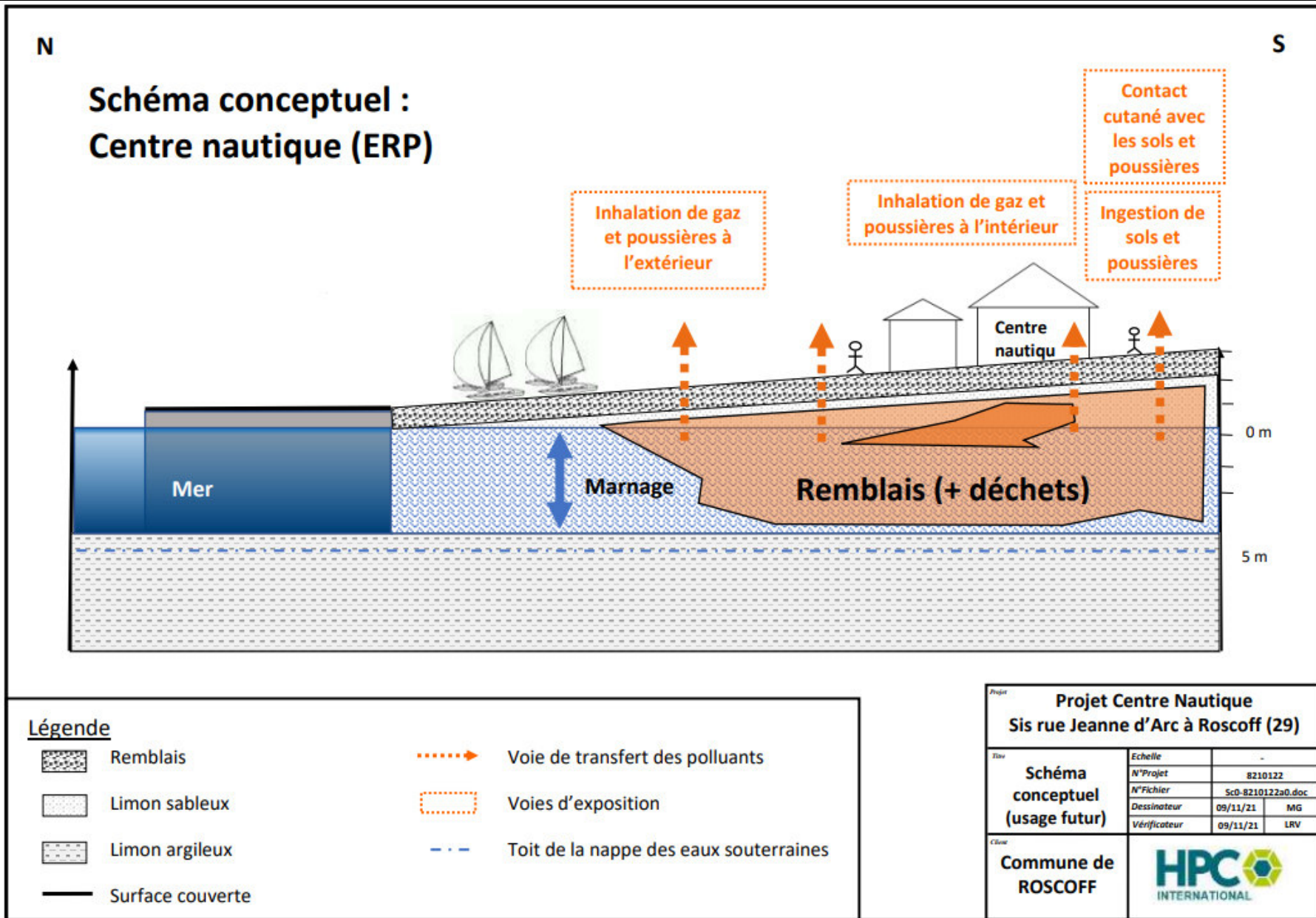
4.1.1. Voies de transfert considérées

Compte tenu des sources de pollution identifiées sur le site, les sols et les gaz du sol ont été retenus comme milieux sources pour le transfert vers l'homme, tel que décrit dans le tableau suivant :

Propriétés caractéristiques des substances	Milieux sources / voies potentielles de transfert vers l'homme		Substances concernées
• Accessibles	Sols et poussières	Air ambiant et contact direct	Toutes les substances concernées
• Volatiles et semi-volatiles	Vapeurs, gaz	Sols/ Gaz du sol puis air ambiant	Substances volatiles
• Diffusion à travers le polyéthylène de haute densité (PEHD)	Sols profonds	Sols, canalisations PEHD puis eau du robinet	Sans objet. Canalisations non identifiées au niveau de la source
• Biodisponibilités	Légumes	Sans objet	

4.1.2. Voies d'exposition - Schéma conceptuel

Sur la base des spécificités du scénario d'exposition et des voies de transfert des substances polluantes identifiées vers les populations cibles représentées par les futurs usagers du site, un schéma conceptuel a été élaboré. L'inhalation de gaz et poussières, l'ingestion de sol/poussières et le contact cutané avec les sols et poussières ont été considérés comme voies d'exposition sur le site dans sa configuration future, tel que décrit dans le schéma en page suivante.



4.1.3. Sélection des substances prises en compte

Les dangers potentiels liés à la présence de substances polluantes dans les sols, les gaz du sol et l'air ambiant, mises en évidence à l'issue des diagnostics, ont été déterminés en fonction de leurs caractéristiques spécifiques (concentrations mesurées, valeurs toxicologiques propres, propriétés physico-chimiques), conduisant aux sélections présentées dans le tableau suivant :

Substances	Prise en compte dans l'étude	Justification
<u>Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) :</u> Benzo(a)pyrène et Naphtalène	OUI	Présence significative dans les sols (supérieur aux valeurs d'admission ISDI)
<u>Éléments Traces Métalliques (ETM) :</u> Arsenic (As), Chrome (Cr), Cuivre (Cu), Mercure (Hg), Nickel (Ni), Plomb (Pb), Zinc (Zn)	OUI	Présence significative dans les sols (Supérieur au bruit de fond géochimique – ASPITET 2000) Présence dans l'air ambiant
<u>BTEX :</u> Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes Totaux	OUI	Présence dans les gaz du sols et l'air ambiant
<u>Hydrocarbures C5-C40</u>	OUI	Présence significative dans les sols (supérieur aux valeurs d'admission ISDI) Présence dans les gaz du sol
<u>COHV :</u> Chloroforme et Tétrachloroéthylène	OUI	Présence dans les gaz du sols
<u>Méthane</u>	NON	Absence de VTR pour cette substance

4.1.4. Identification des dangers potentiels des substances considérées

Les tableaux suivants regroupent les substances ainsi sélectionnées, la nature du danger potentiel induit par celles-ci ainsi que les voies potentielles d'exposition et les cibles toxicologiques chez l'Homme :

Substances chimiques sélectionnées (1/3)	Nature du risque	Voies d'exposition	Cibles toxicologiques chez l'homme
Éléments Traces Métalliques			
• Arsenic	Cancérogène et systémique	* Ingestion * Inhalation	* Systèmes cutané, circulatoire et neurologique
• Chrome	Systémique	* Ingestion * Inhalation	* Systèmes rénal, digestif et cutané
• Cuivre	Systémique	* Ingestion * Inhalation	* Système digestif

Substances chimiques sélectionnées (2/3)	Nature du risque	Voies d'exposition	Cibles toxicologiques chez l'homme
• Mercure	Systémique	* Ingestion * Inhalation	* Systèmes rénal, neurologique, immunitaire et développement fœtal * Systèmes neurologique et rénal, développement fœtal
• Nickel	Cancérogène et systémique	* Ingestion * Inhalation	* Systèmes circulatoire, rénal, hépatique et développement fœtal * Système respiratoire
• Plomb	Cancérogène et systémique	* Ingestion * Inhalation	* Systèmes circulatoire, rénal, neurologique, digestif et osseux
• Zinc	Systémique	* Ingestion	* Système circulaire
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques			
• Benzo(a)pyrène	Cancérogène et mutagène	* Ingestion * Inhalation	* Systèmes digestif, respiratoire et circulatoire
• Naphtalène	Cancérogène et systémique	* Ingestion * Inhalation	* Systèmes circulatoire, neurologique, digestif et poids corporel * Systèmes neurologique et respiratoire
Hydrocarbures			
• Aliphatiques	Systémique	* Ingestion * Inhalation	* Systèmes rénal, hépatique et neurologique
• Aliphatiques		* Ingestion * Inhalation	* Systèmes hépatique et circulatoire
• Aliphatiques		* Ingestion * Inhalation	* Système hépatique
• Aromatiques		* Ingestion * Inhalation	* Systèmes hépatique et rénal
• Aromatiques		* Ingestion * Inhalation	* Diminution du poids corporel
• Aromatiques		* Ingestion * Inhalation	* Système rénal
BTEX			
• Benzène	cancérogène, systémique et mutagène	* Ingestion * Inhalation	* Systèmes circulatoire, immunitaire et neurologique
• Éthylbenzène	cancérogène, systémique	* Ingestion * Inhalation	* Systèmes hépatique et rénal * Systèmes hépatique et rénal
• Toluène	Systémique	* Ingestion * Inhalation	* Systèmes hépatique, rénal et immunitaire * Système neurologique

Substances chimiques sélectionnées (3/3)	Nature du risque	Voies d'exposition	Cibles toxicologiques chez l'homme
• Xylènes totaux	Systemique	* Ingestion * Inhalation	* Système hépatique * Développement fœtal, systèmes neurologique et respiratoire
COHV			
• Trichlorométhane	Cancérogène, systémique et mutagène	* Ingestion * Inhalation	* Systèmes hépatique, neurologique et rénal
• Tétrachloroéthylène	Cancérogène, systémique et mutagène	* Ingestion * Inhalation	* Systèmes neurologique, rénal, hépatique, immunitaire et développement fœtal

Les tableaux suivants présentent les classifications du pouvoir cancérogène des substances concernées parmi celles sélectionnées :

Substances : Classifications cancérogène	ORGANISME		
	Union Européenne	IARC	US EPA
Eléments Traces Métalliques			
• Arsenic	Non déterminé	Groupe 1	Classe A
• Nickel	Catégorie 1	Groupe 1	Classe A
• Plomb	Catégorie 3	Groupe 2B	Groupe B2
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques			
• Benzo(a)pyrène	Catégorie 2	Groupe 1	Classe B2
• Naphtalène	Catégorie 3	Groupe 2B	Classe C
BTEX			
• Benzène	Catégorie 1	Groupe 1	Classe A
• Ethylbenzène	Non classifié	Groupe 2B	Classe D
COHV			
• Trichlorométhane	Catégorie 3	Groupe 2B	Groupe B2
• Tétrachloroéthylène	Catégorie 2	Groupe 2B	Groupe B2

IARC : International Agency for Research on Cancer / US EPA : United States Environmental Protection Agency

Union Européenne :

Catégorie 1A : « Substances dont le potentiel cancérogène pour l'être humain est avéré »

Catégorie 1B : « Substances dont le potentiel cancérogène pour l'être humain est supposé »

Catégorie 2 : « Substances suspectées d'être cancérogènes pour l'homme »

Catégorie 3 : « substance préoccupante pour l'homme en raison d'effets cancérogènes possibles »

IARC :

Groupe 1 : « l'agent (ou le mélange) est cancérigène pour l'homme »

Groupe 2A : « l'agent (ou le mélange) est probablement cancérigène pour l'homme »

Groupe 2B : « l'agent (ou le mélange) pourrait être cancérigène pour l'homme »

Groupe 3 : « l'agent (le mélange ou les circonstances d'exposition) ne peut pas être classé quant à sa cancérigénicité pour l'homme »

US EPA :

Classe A : « substance cancérigène pour l'homme »

Groupe B2 : « substance potentiellement cancérigène pour l'homme »

Classe C : « la substance est un cancérigène possible pour l'homme »

4.2. Scénarios d'usage et d'exposition

4.2.1. Budget espace-temps

Le budget espace-temps pris en compte pour les futurs usagers du site est synthétisé dans le tableau suivant :

Aménagement	Usagers	Types d'usagers	Durées d'exposition des usagers		Budgets espace-temps	
					Intérieur	Extérieur
ERP	• Employés	Adultes	42 ans ⁽¹⁾	220 j/an ⁽²⁾	4H00 / J	4H00 / J
	• Clientèle	Adultes	42 ans ⁽¹⁾	52 j/an ⁽⁴⁾	2H00 / J	4H00 / J
		Enfants	6 ans ⁽³⁾	52 j/an ⁽⁴⁾	2H00 / J	4H00 / J

⁽¹⁾ : durée de travail moyenne sur un même lieu au cours d'une carrière professionnelle,

⁽²⁾ : nombre de jours de travail sur une année (loi des 35h),

⁽³⁾ : estimation du nombre d'années passées au centre nautique

⁽⁴⁾ : estimation du nombre de jours passés au centre nautique

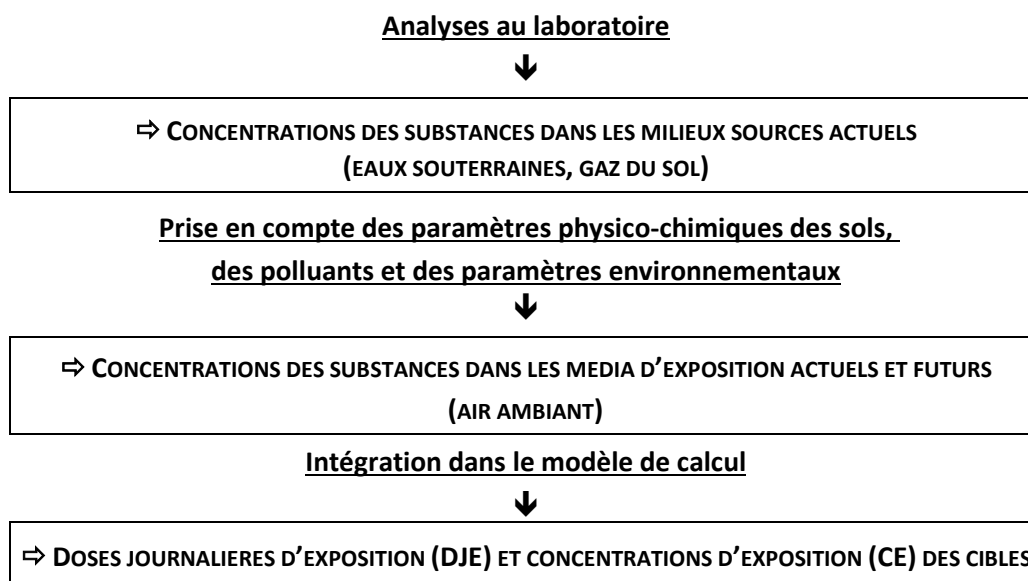
4.2.2. Concentrations prises en compte dans les calculs

Les concentrations prises en compte pour les calculs de risques sanitaires sont les concentrations maximales restantes dans les sols après recouvrement des zones sources de pollution concentrée (voir les zones concernées en annexe 4). Pour les gaz du sol, les teneurs maximales mesurées dans ce milieu ont été prise en compte, sans considération d'un abattement. L'ensemble des concentrations prises en compte est synthétisé dans le tableau en page suivante.

	Concentrations maximales mesurées dans les milieux après recouvrement des zones sources de pollutions concentrées		
	Sols	Gaz du sol	Air ambiant
	mg/kg	mg/m ³	mg/m ³
Benzène	<lq	0,0310	0,000180
Toluène	<lq	0,103	<lq
Xylènes	<lq	0,193	0,00151
Ethylbenzène	<lq	0,0350	<lq
Hydrocarbures C _{>5} -C ₈	-	1,14	<lq
Hydrocarbures C _{>8} -C ₁₀	-	2,22	<lq
Hydrocarbures C _{>10} -C ₁₂	-	5,67	<lq
Hydrocarbures C _{>12} -C ₁₆	-	0,415	<lq
Hydrocarbures C _{>10} -C ₁₆	19,7	-	-
Hydrocarbures C _{>16} -C ₂₂	23,2	-	-
Hydrocarbures C _{>22} -C ₃₀	17,8	-	-
Hydrocarbures C _{>30} -C ₄₀	13,4	-	-
Naphtalène	0,130	0,0035	<lq
Benzo(a)pyrène	0,41	-	-
Arsenic (As)	28,3	-	<lq
Plomb (Pb)	59,1	-	<lq
Chrome (Cr)	29,9	-	-
Cuivre (Cu)	31,2	-	<lq
Nickel (Ni)	19,7	-	-
Mercure (Hg)	0,16	-	<lq
Zinc (Zn)	107	-	-
Chloroforme	<lq	0,0120	<lq
Tétrachloroéthylène	<lq	0,0180	<lq

4.2.3. Calcul des doses journalières et concentrations d'exposition (DJE et CE)

Sur la base des concentrations indiquées dans le tableau précédent et des voies d'exposition considérées (voir schéma conceptuel), un calcul des **Doses Journalières d'Exposition (DJE)** et des **concentrations d'exposition (CE)** des cibles a été effectué à l'aide du modèle de transfert des polluants (cf. annexe 3.1) selon la procédure décrite dans le schéma en page suivante.



Les **DJE** (doses journalières d'exposition en mg/kg/j) sont établies pour chaque voie d'exposition potentielle (dans le cas l'inhalation de gaz et poussières, l'ingestion de sols et poussières et le contact cutané avec les sols) en fonction du poids des individus et de leur durée d'exposition. Celles-ci sont comparées, lors de la quantification des risques, aux doses journalières tolérables (DJT en mg/kg/j).

Les **CE** (concentrations d'exposition en mg/m³) sont rapportées au temps passé sur le site. Elles représentent la conversion des DJE par inhalation (mg/kg/j) en mg/m³ (en multipliant par le poids et en divisant par le volume respiratoire pour chaque cible) et sont comparées lors de la quantification des risques aux concentrations tolérables (CT en mg/m³).

4.2.4. Quantification des risques sanitaires

4.2.5. Détermination des valeurs toxicologiques de relation dose - effets

La première phase de la caractérisation des risques potentiels a consisté en une compilation des données scientifiques disponibles les plus récentes concernant la toxicité des substances polluantes retenues en distinguant les effets potentiels **sans** seuil (cancérogènes, mutagènes et tératogènes) et/ou **avec** seuil (non cancérogènes, non mutagènes et non tératogènes).

- dans le cas des substances à effets avec seuil (surtout à effets non cancérogènes et pour certaines substances à effets cancérogènes : tétrachlorométhane), les niveaux d'exposition sans risque appréciable d'effets néfastes pour la santé sont les suivants :
 - ⇒ les **doses journalières tolérables (DJT)** applicables à l'homme pour l'ingestion et le contact cutané,
 - ⇒ les **concentrations tolérables (CT)** applicables pour l'inhalation,

- pour les substances polluantes à effets sans seuil (surtout à effets cancérigènes), la relation entre le degré d'exposition chez l'homme et la probabilité de développer de tels effets est exprimée par les indices suivants :
- ⇒ un **excès de risque unitaire (ERU)** pour l'ingestion et le contact cutané,
 - ⇒ un **excès de risque unitaire par inhalation (ERUI)**.

Les valeurs toxicologiques (CT et ERUI), issues de la bibliographie existante, considérées dans la présente étude pour chaque substance polluante ont été sélectionnées selon les critères suivants (voir justification du choix pour chaque substance en annexe 3.5).

1. conformité avec la Circulaire du 08 février 2007 relative aux modalités de gestion des sites pollués, complétée par la Note du 31 octobre 2014, relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence,
2. choix prioritaire des données toxicologiques issues d'études chez l'homme (études épidémiologiques, données d'exposition professionnelle...), puis les données chroniques voire sub-chroniques issues d'études animales (utilisation de facteurs de sécurité pour les données sub-chroniques, les variations intra- et inter-espèce, etc.),
3. bonne adéquation des durées et voies d'exposition des études toxicologiques avec les durées et voies d'exposition des scénarios considérés,
4. choix préférentiel des bases de données les mieux renseignées et des valeurs toxicologiques les plus récentes (actualisées récemment et/ou issues des études toxicologiques les plus récentes, selon les critères de qualité de Klimisch 1&2 (Klimisch HJ et al., 1997), etc...),
5. adaptation des valeurs toxicologiques par inhalation aux volumes respiratoires considérés dans l'étude (explication ci-après).

Remarque : les risques cancérigènes et non cancérigènes calculés pour l'inhalation tiennent compte des volumes respiratoires spécifiques des individus pour le scénario considéré (voir détail en annexe 3.2). Pour les Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) pour l'inhalation basées initialement sur un volume respiratoire et un poids donné (20 m³/j et 70 kg) pour la majorité des VTR issues de la littérature), ces dernières ont été transformées suivant l'équation suivante :

$VTR_{\text{utilisée dans les calculs}} = VTR_{\text{de la base de données}} * (20 \text{ m}^3/\text{j} / 70 \text{ kg (adulte)}) * (P_{\text{individu}} / VR_{\text{individu}})$

VTR : Valeur Toxicologique de Référence par inhalation recalculée (mg/m³)

P_{individu}: Poids corporel de l'individu (voir en annexe 3.2)

VR_{individu} : Volume Respiratoire journalier de l'individu (voir en annexe 3.2)

L'ensemble des valeurs toxicologiques de référence pour les risques chroniques sélectionnées pour l'étude est ainsi regroupé au sein des tableaux en pages suivantes.

Substance (1/3)	Nature du risque	Valeur toxicologique chronique				Espèce	Critère / Facteur de sécurité	Organisme
		Voie d'exposition	Organe(s) cible(s)	Valeur	application d'un FET			
Hydrocarbures								
Hydrocarbures aliphatiques C5-C6	NC	Ingestion	Systèmes rénal, hépatique et neurologique	5 mg/kg/j	-	Estimation à partir des valeurs du n-Hexane		
		Inhalation	Systèmes rénal, hépatique et neurologique	18,4 mg/m ³	-			
Hydrocarbures aliphatiques C>6-C8	NC	Ingestion	Systèmes rénal, hépatique et neurologique	5 mg/kg/j	-	Estimation à partir des valeurs du n-Hexane		
		Inhalation	Systèmes rénal, hépatique et neurologique	18,4 mg/m ³	-			
Hydrocarbures aliphatiques C>8-C10	NC	Ingestion	Systèmes hépatique et circulatoire	0,1 mg/kg/j	-	rat	LOAEL / 5000 et NOAEL / 1000	
		Inhalation	Systèmes hépatique et circulatoire	1,0 mg/m ³	-	rat	NOAEL / 1000	
Hydrocarbures aliphatiques C>10-C12	NC	Ingestion	Systèmes hépatique et circulatoire	0,1 mg/kg/j	-	rat	LOAEL / 5000 et NOAEL / 1000	
		Inhalation	Systèmes hépatique et circulatoire	1,0 mg/m ³	-	rat	NOAEL / 1000	
Hydrocarbures aliphatiques C>12-C16	NC	Ingestion	Systèmes hépatique et circulatoire	0,1 mg/kg/j	-	rat	LOAEL / 5000 et NOAEL / 1000	
		Inhalation	Systèmes hépatique et circulatoire	1,0 mg/m ³	-	rat	NOAEL / 1000	
Hydrocarbures aliphatiques C>16-C35	NC	Ingestion	Système hépatique	2,0 mg/kg/j	-	rat	NOAEL / 100	
		Inhalation	Système hépatique	Non disponible	-	-	-	
Hydrocarbures aromatiques C>5-C7	NC	Ingestion	Systèmes hépatique et rénal	0,2 mg/kg/j	-	Estimation à partir des valeurs du toluène, éthylbenzène, styrène et des xylènes		
		Inhalation	Systèmes hépatique et rénal	0,4 mg/m ³	-			
Hydrocarbures aromatiques C>7-C8	NC	Ingestion	Systèmes hépatique et rénal	0,2 mg/kg/j	-	Estimation à partir des valeurs du toluène, éthylbenzène, styrène et des xylènes		
		Inhalation	Systèmes hépatique et rénal	0,4 mg/m ³	-			
Hydrocarbures aromatiques C>8-C10	NC	Ingestion	Diminution du poids corporel	0,04 mg/kg/j	-	Estimation à partir des valeurs de l'isopropylbenzène et des HAP non cancérigènes		
		Inhalation	Diminution du poids corporel	0,2 mg/m ³	-			
Hydrocarbures aromatiques C>10-C12	NC	Ingestion	Diminution du poids corporel	0,04 mg/kg/j	-	Estimation à partir des valeurs de l'isopropylbenzène et des HAP non cancérigènes		
		Inhalation	Diminution du poids corporel	0,2 mg/m ³	-			
Hydrocarbures aromatiques C>12-C16	NC	Ingestion	Diminution du poids corporel	0,04 mg/kg/j	-	Estimation à partir des valeurs de l'isopropylbenzène et des HAP non cancérigènes		
		Inhalation	Diminution du poids corporel	0,2 mg/m ³	-			
Hydrocarbures aromatiques C>16-C21	NC	Ingestion	Système rénal	0,03 mg/kg/j	-	Valeur du pyrène (C ₁₆)		
		Inhalation	Système rénal	Non disponible	-	-	-	
Hydrocarbures aromatiques C>21-C35	NC	Ingestion	Système rénal	0,03 mg/kg/j	-	Valeur du pyrène (C ₁₆)		
		Inhalation	Système rénal	Non disponible	-	-	-	

TPHCWG
1997

Substance (2/3)	Nature du risque	Valeur toxicologique chronique				Espèce	Critère / Facteur de sécurité	Organisme
		Voie d'exposition	Organe(s) cible(s)	Valeur	application d'un FET			
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques								
Benzo(a)pyrène	C, M	Ingestion	Système digestif, respiratoire et circulatoire	0,2 [mg/kg/j] ⁻¹	1	rat	1	RIVM 2001
		Inhalation	Système respiratoire	1,1 [mg/m ³] ⁻¹	1	hamster	1	OEHHA 2002
Naphtalène	NC	Ingestion	Système circulatoire, neurologique, digestif et poids corporel	0,02 mg/kg/j	-	rat	NOAEL / 3000	IRIS 1998
		Inhalation	Système neurologique, et respiratoire	0,037 mg/m ³	-	rat	LOAEC (équivalent humain) / 250	ANSES 2013
	C	Ingestion	Système circulatoire, neurologique, digestif et poids corporel	0,0002 [mg/kg/j] ⁻¹	-	rat	TEQ / BaP	Nisbet et LaGoy, 1992
		Inhalation	Système neurologique, hépatique, rénal, circulatoire et poids corporel	0,0056 [mg/m ³] ⁻¹	0,001	rat	BMC10	ANSES 2013
Hydrocarbures Monoaromatiques								
Benzène	NC	Ingestion	Systèmes circulatoire, immunitaire, neurologique et mutagène	0,0005 mg/kg/j	-	homme	BMDL / 10	ATSDR 2007
		Inhalation	Systèmes circulatoire, immunitaire, neurologique et mutagène	0,00975 mg/m ³	-	homme	BMCL / 10	ATSDR 2005
	C, M	Ingestion	Systèmes circulatoire, immunitaire, neurologique et mutagène	0,055 [mg/kg/j] ⁻¹	-	homme	-	IRIS 2000
		Inhalation	Systèmes circulatoire, immunitaire, neurologique et mutagène	0,026 [mg/m ³] ⁻¹	-	homme	-	ANSES 2013
Ethylbenzène	NC	Ingestion	Systèmes hépatique et rénal	0,1 mg/kg/j	-	rat	NOAEL / 1000	IRIS 1987
		Inhalation	Système neurologique	1,5 mg/m ³	-	rat	BMCL ₉₀ / 25	ANSES 2016
	C	Ingestion	Développement fœtal, système rénal	0,011 [mg/kg/j] ⁻¹	-	rat	1	OEHHA 2007
		Inhalation	Développement fœtal, système rénal	0,0025 [mg/m ³] ⁻¹	-	rat	1	OEHHA 2007
Toluène	NC	Ingestion	Systèmes hépatique, rénal et immunitaire	0,08 mg/kg/j	-	rat	BMDL / 3000	IRIS 2005
		Inhalation	Systèmes neurologique	19 mg/m ³	-	homme	NOAEC / 5	Anses 2017
Xylènes totaux	NC	Ingestion	Système hépatique	0,2 mg/kg/j	-	rat	NOAEL / 1000	IRIS 2003
		Inhalation	Développement fœtal, systèmes neurologique et respiratoire	0,1 mg/m ³	-	rat	NOAEC / 300	ANSES 2020
Arsenic	NC	Ingestion	Systèmes cutané, circulatoire et neurologique	0,00045 mg/kg/j	-	homme	BMDL05 / 5	UBA 2008
		Inhalation	Systèmes cutané, circulatoire et neurologique	0,0001 mg/m ³	-	homme	LOAEL / 100	UBA 2008
	C	Ingestion	Systèmes cutané, circulatoire et neurologique	1,5 [mg/kg/j] ⁻¹	-	homme	1	IRIS 1998
		Inhalation	Systèmes cutané, circulatoire et neurologique	4,3 [mg/m ³] ⁻¹	-	homme	1	IRIS 1998

Substance (3/3)	Nature du risque	Valeur toxicologique chronique				Espèce	Critère / Facteur de sécurité	Organisme
		Voie d'exposition	Organe(s) cible(s)	Valeur	application d'un FET			
Chrome III	NC	Ingestion	Systèmes rénal, digestif et cutané	1,5 mg/kg/j	-	rat	NOAEL / 1000	OMS 1998
		Inhalation	Systèmes rénal, digestif et cutané	0,06 mg/m ³	-	homme	10	RIVM 2001
Cuivre	NC	Ingestion	Système digestif	0,05 mg/kg/j	-	homme	NOAEL / 1	UBA 1999
		Inhalation	-	0,001 mg/m ³	-	lapin	NOAEL / 600	RIVM 2001
Mercure	NC	Ingestion	Systèmes rénal, neurologique, immunitaire et développement fœtal	0,002 mg/kg/j	-	rats	NOAEL / 100	OMS 2005
		Inhalation	Systèmes neurologique et rénal, développement fœtal	0,0003 mg/m ³	-	homme	LOAEL / 30	IRIS 1995
Nickel	NC	Ingestion	Systèmes circulatoire, rénal, hépatique et développement fœtal	0,012 mg/kg/j	-	homme	LOAEL	OMS 2005
		Inhalation	Système respiratoire	0,00009 mg/m ³	-	rat	NOAEL / 30	ATSDR 2003
	C	Ingestion	-	-	-	-	1	-
		Inhalation	Système respiratoire	0,38 [mg/m ³] ⁻¹	-	homme	1	OMS 2000
Plomb	NC	Ingestion	Systèmes circulatoire, rénal, neurologique, digestif et osseux	15 µg/l (plombémie) (0,00063 mg/kg)	-	homme	1	ANSES 2012
		Inhalation	Systèmes circulatoire, rénal, neurologique, digestif et osseux	0,0005 mg/m ³	-	enfant	1	OMS 1999
	C	Ingestion	Système rénal	0,0085 [mg/kg/j] ⁻¹	-	Rat	1	OEHHA 2002
		Inhalation	Système rénal	0,012 [mg/m ³] ⁻¹	-	Rat	1	OEHHA 2002
Zinc	NC	Ingestion	Système circulatoire	0,3 mg/kg/j	-	homme	LOAEL / 3	IRIS 2005
Chlorés								
Trichlorométhane	NC	Ingestion	Systèmes hépatique, neurologique et rénal	0,01 mg/kg/j	-	chien	LOAEL / 1000	IRIS 1992 / OMS 2004
		Inhalation	Systèmes hépatique, neurologique et rénal	0,063 mg/m ³	-	souris	NOAEL / 100	AFSSET 2009
	C, M	Ingestion	-	-	-	-	-	-
	C, M	Inhalation	-	-	-	-	-	-
	Cng	Inhalation	Système rénal	0,063 mg/m ³	-	souris	NOAEL / 100	AFSSET 2009
Tétrachloroéthylène	NC	Ingestion	Systèmes neurologique, rénal, hépatique, immunitaire et développement fœtal	0,006 mg/kg/j	-	homme	LOAEL/1000	IRIS 2012
		Inhalation	Systèmes neurologique, rénal, hépatique, immunitaire et développement fœtal	0,4 mg/m ³	-	homme	LOAEC / 30	ANSES 2018
	C, M	Ingestion	Système hépatique	0,0021 [mg/kg/j] ⁻¹	-	souris	BMDL ₁₀	IRIS 2012
		Inhalation	Système hépatique	0,00026 [mg/m ³] ⁻¹	-	souris	BMCL ₁₀	IRIS 2012 ANSES 2018

NC : non cancérigène

C : cancérigène ; Cng : cancérigène avec seuil

NOAEL : Non Observed Adverse Effect Level

LOAEL : Low Observed Adverse Effect Level

ERU : Excès de Risque Unitaire par ingestion

ERUi : Excès de Risque Unitaire par inhalation

TEQ : Equivalent de toxicité (HAP)

% abs : pourcentage d'absorption de la substance dans

nd : non décrit dans la base de données

BMD₁₀ (BMC₁₀) : Benchmark Dose (L : Level) (Concentration) pour 10% d'augmentation de l'effet

IRIS : Integrated Risk Informations of Substances (U.S. - EPA)

UBA : Umweltbundesamt (Deutschland / Germany)

OEHHA : Office of Environmental Health Hazard Assessment

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ATSDR : Agency for toxic substances and disease registry

RIVM : Institut de l'Environnement et de la Santé Publique Néerlandais

TPHCWG : Total Petroleum Hydrocarbons Criteria Working Group

4.2.6. Principes de quantification des risques sanitaires

Les équations intégrées dans le modèle (voir annexe 3.3) pour effectuer la quantification des risques liés aux diverses substances sélectionnées sont définies ci-dessous.

➤ **Le risque non cancérigène ou cancérigène avec seuil** (ou **quotient de danger QD**) a été défini par le rapport de la dose journalière d'exposition (DJE calculée par le modèle) sur la dose journalière tolérable (DJT) ou sur la concentration tolérable (CT) et ce, pour chaque substance considérée :

Le quotient de danger (QD) est comparé au seuil considéré comme acceptable de 1 (défini par la circulaire du 08 février 2007 ^(*)) :

$$\Rightarrow \text{QD} = \text{DJE (mg/kg/j)} / \text{DJT (mg/kg/j)} \quad [\text{pour l'ingestion et le contact cutané}],$$

$$\Rightarrow \text{QD} = \text{CE (mg/m}^3\text{)} / \text{CT (mg/m}^3\text{)} [\text{pour l'inhalation}].$$

- si $\text{QD} < 1$: risque considéré comme acceptable
- si $\text{QD} \geq 1$: risque considéré comme non acceptable

➤ **Le risque cancérigène sans seuil** (ou **excès de risque individuel ERI**) a été calculé en multipliant la dose d'exposition (DJE) par l'excès de risque unitaire (ERU ou ERUI), pour chaque substance :

L'excès de risque individuel (ERI) est comparé au seuil de 10⁻⁵ considéré comme acceptable (défini par la circulaire du 08 février 2007 ^(*)) :

$$\Rightarrow \text{ERI} = \text{DJE (mg/kg/j)} * \text{ERU (mg/kg/j)}^{-1} \quad [\text{pour l'ingestion et le contact cutané}],$$

$$\Rightarrow \text{ERI} = \text{CE (mg/m}^3\text{)} * \text{ERUI (mg/m}^3\text{)}^{-1} \quad [\text{pour l'inhalation}].$$

- si $\text{ERI} < 10^{-5}$: risque considéré comme acceptable
- si $\text{ERI} \geq 10^{-5}$: risque considéré comme non acceptable

^(*) : Ministère chargé de l'Environnement. Circulaire « Sites et sols pollués - Modalités de gestion et de réaménagement des sites ».

L'**additivité des risques sanitaires** liés à la présence simultanée des substances sélectionnées a été prise en compte en procédant :

➤ pour les substances à effets cancérigènes à l'addition des Excès de Risques Individuels (ERI) déterminés pour chaque substance,

pour les substances à effets non cancérigènes à l'addition des quotients de danger (QD) uniquement pour les substances ayant le même organe cible.

4.2.7. Résultats de la quantification des risques sanitaires après recouvrement des zones sources de pollutions

SCENARIO :		ERP				
CIBLES :		ADULTES		ENFANTS		AD+EN
		risques non cancérogènes	risques cancérogènes sans seuil	risques non cancérogènes	risques cancérogènes sans seuil	risques cancérogènes sans seuil
1	Benzène	0,00371	5,64E-07	0,000658	1,43E-08	5,78E-07
2	Toluène	0,00000289	-	0,000000388	-	-
3	Xylènes totaux	0,00303	-	0,000538	-	-
4	Ethylbenzène	0,0000121	4,44E-09	0,000000160	1,25E-10	4,57E-09
5	Hydrocarbures aliphatiques C5-C6	0,00000846	-	0,000000115	-	-
6	Hydrocarbures aliphatiques C>6-C8	0,00000846	-	0,000000115	-	-
7	Hydrocarbures aliphatiques C>8-C10	0,0000607	-	0,00000825	-	-
8	Hydrocarbures aliphatiques C>10-C12	0,000177	-	0,000065	-	-
9	Hydrocarbures aliphatiques C>12-C16	0,0000353	-	0,000047	-	-
10	Hydrocarbures aliphatiques C>16-C35	0,000084	-	0,000028	-	-
11	Hydrocarbures aromatiques C>5-C7	0,0000389	-	0,00000529	-	-
12	Hydrocarbures aromatiques C>7-C8	0,0000389	-	0,00000529	-	-
13	Hydrocarbures aromatiques C>8-C10	0,000303	-	0,0000412	-	-
14	Hydrocarbures aromatiques C>10-C12	0,000839	-	0,000221	-	-
15	Hydrocarbures aromatiques C>12-C16	0,000117	-	0,000122	-	-
16	Hydrocarbures aromatiques C>16-C21	0,00048	-	0,00042	-	-
17	Hydrocarbures aromatiques C>21-C35	0,00026	-	0,00050	-	-
18	Naphtalène	0,00000808	6,05E-10	0,00000677	1,36E-11	6,18E-10
19	Benzo(a)pyrène	-	2,65E-08	-	6,66E-09	3,31E-08
20	Arsenic	0,0259	4,27E-06	0,0209	1,06E-06	5,32E-06
21	Plomb	0,0414	1,35E-07	0,083	3,84E-08	1,73E-07
22	Chrome III	0,0000115	-	0,0000182	-	-
23	Cuivre	0,00045	-	0,00059	-	-
24	Nickel	0,00198	2,606E-08	0,00168	6,399E-10	2,670E-08
25	Mercur	0,0000386	-	0,0000717	-	-
26	Zinc	0,000156	-	0,000317	-	-
27	Chloroforme	0,0000105	-	0,00000143	-	-
28	Tétrachloroéthylène	0,00000232	1,450E-10	0,000000306	2,728E-12	1,477E-10
Somme des risques cancérogènes sans seuil		(lim. : 1,00E-05)	5,02E-06		1,12E-06	6,14E-06
Somme des risques cancérogènes à seuil		(lim. : 1,00)				
Somme des risques non cancérogènes		(lim. : 1,00)				
Système neurologique (1+2+3+4+5+6+18+20+21+25+27+28)		0,074	-	0,106	-	-
Système hépatique (2+3+4+5+6+7+8+9+10+11+12+24+27+28)		0,00547	-	0,00237	-	-
Système rénal (2+4+5+6+11+12+16+17+21+22+24+25+27+28)		0,0442	-	0,086	-	-
Système circulatoire (1+7+8+9+18+20+21+24+26)		0,073	-	0,107	-	-
Système immunitaire (1+2+25+28)		0,00375	-	0,000730	-	-
Système respiratoire (3+18+24)		0,00502	-	0,00222	-	-
Développement fœtal (3+24+25+28)		0,00506	-	0,00229	-	-
Diminution du poids corporel (13+14+15+18)		0,00127	-	0,000391	-	-
Système cutané (20+22)		0,0259	-	0,0209	-	-
Système osseux (21)		0,0414	-	0,083	-	-
Système digestif (18+21+22+23)		0,0418	-	0,084	-	-
Mutagène (1+27+28)		0,00372	-	0,000659	-	-

Il ressort du tableau précédent que, pour les usagers du site (adultes et enfants), en considérant comme concentrations d'entrée les teneurs résiduelles théoriques après dépollution rappelées au paragraphe 4.2.2, et des paramètres majorants d'exposition (concentrations maximales), les niveaux de risques cancérogènes et non cancérogènes sont inférieurs aux limites acceptables respectivement de 1,00E-05 et 1,00. **Ce résultat permet de valider les seuils de coupure préalablement définis.**

5. Plan de Gestion

5.1. Usage futur envisagé

Conformément à l'usage futur envisagé du site, un usage de type « **ERP (Etablissement recevant du Public)** » est retenu dans le cas de la présente étude.

5.2. Principes généraux

Le Plan de Gestion est une étude préalable à la remise en état d'un site faisant l'objet d'une vente, d'une cessation d'activité ou d'un changement d'usage, ayant pour objectif de proposer des solutions de gestion correctives de l'état de pollution éventuel du site. Cette étude se base sur un bilan coûts-avantages et vise à dégager la ou les options jugées les plus pertinentes compte tenu, d'une part, des résultats attendus et, d'autre part, des diverses contraintes, notamment techniques et économiques. Il doit être établi en respectant certains principes et lignes directrices, notamment :

- en envisageant l'élimination partielle ou totale des sources de pollution identifiées lors du diagnostic (sous réserve et dans la limite des contraintes techniques et financières réalistes du moment),
- en privilégiant des options d'action directe sur les sources de pollution les plus concentrées, notamment lorsque celles-ci sont facilement accessibles,
- en prenant en compte une nécessité d'adéquation a minima entre l'état résiduel attendu du sous-sol et des objectifs à la fois sanitaires (compatibilité avec les usages envisagés pour le site et/ou avec ceux constatés dans la zone d'influence) et environnementaux (minimisation des impacts sur l'environnement).

D'une manière générale, le Plan de Gestion doit être d'une ampleur proportionnée aux pollutions et à leur étendue. Le choix des options de gestion dépend surtout des critères suivants :

- contraintes de sécurité,
- aspects sanitaires et environnementaux,
- faisabilité technique de mise en œuvre,
- aspects économiques de faisabilité,
- pérennité des moyens mis en œuvre,
- contraintes sociales et acceptabilité pour les travailleurs sur site,
- sensibilité publique et médiatique,
- aspects juridiques et administratifs (internes et externes).

5.3. Objectifs des mesures de gestion

Le présent document constitue une étude préalable devant permettre de proposer et d'évaluer une ou plusieurs solutions techniques pour la réhabilitation du site en prenant en compte les priorités suivantes, dans la limite des contraintes (techniques, économiques, etc.) :

- Diminuer les concentrations en ETM mis en évidence dans le milieu « sols » et éviter les risques liés à l'accumulation du Méthane dans les sous-sols,
- Contrôler l'efficacité des travaux mis en œuvre dans le temps,
- Garantir l'absence de risques sanitaires inacceptables pour les usagers actuels et futurs du site et de son environnement.

5.4. Bilan coûts-avantages

Le tableau suivant synthétise les avantages et les inconvénients des options de gestion envisagées :

→ **Important** : Les Coûts sont seulement indicatifs par Technologie potentiellement applicable. Les analyses du Bilan Coûts-Avantages indiquent les dépollutions recommandables.

Option de gestion	Milieu et zone traité	Présentation succincte / moyen mis en œuvre	Avantages	Inconvénients	Approche de coûts et durée	Option technique envisageable
OPERATION I : MILIEUX SOL						
Opération I.1 Excavations des zones sources de pollution lors des travaux de construction du bâtiment et évacuation en centre(s) de traitement agréé(s)	➤ Sol situé en zone non saturée	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Principe de traitement : Excavations des sols dans les zones sources de pollution où les seuils de coupure ont été dépassés, Transport et traitement hors site des terres et des déchets (biocentre, ISDD). ➤ En raison du dépôt historique d'amiante en sous-sol et malgré l'absence d'identification lors des investigations la procédure SS4 (le cas échéant plan de retrait SS3) devra être appliquée pour tous les travaux en sous-sol sur l'ensemble du site. ➤ Sols dans la zone non-saturée (env. 0 - 3 m de profondeur max.) : <ul style="list-style-type: none"> ⇒ Amené du matériel d'excavation adapté aux conditions du site, ⇒ Stockage (sur une aire étanche à préparer avec collecte complète des lixiviats + couverture bâchage résistant aux tempêtes) et tri des matériaux à excaver (analyses ISDN, Amiante, BTEX,HC5-40, etc.) , ⇒ Demandes des acceptations en ISDI, ISDND, etc. et évacuation des matières excavées vers des centres agréés de traitement des déchets, selon les classifications réalisées, ⇒ Mise en place pendant des excavations de fûts de sécurité (10 x 50 ou 100 l au min.) pour les trouvailles potentielles de déchets dangereux. ⇒ Repli du matériel. ➤ Remblaiement des fouilles par matériaux d'apport extérieur d'origine contrôlée et mise en place d'une dalle béton pour construction du bâtiment 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Des excavations de terrassements sont inévitables dans la configuration actuelle du projet de bâtiment nautique, ➤ Extraction de source concentrée de polluants sur des spots limités, ➤ Réalisation rapide, ➤ Mise en œuvre relativement simple, ➤ Possibilité d'intervenir dans différentes parties du site en même temps. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Nuisances pour les populations riveraines et occupants du site à prendre en compte (odeur, bruit, exposition,), ➤ Mesures HSE très importantes et strictes (mode opératoire, plan de retrait, procédures, confinement, EPI, surveillance, explosimètre ...), ➤ Coûts d'excavation Sous-Section 4, de transport et de mise en décharge amiante le cas échéant, ➤ Augmentation de la circulation de camions (transport des déchets) et impact sur les nuisances (pollution, bruit, odeurs), ➤ Gestion des eaux de pluies (potentiellement polluées) impliquant un traitement et une élimination, ➤ Bilan énergétique très négatif, ➤ Matériaux soumis à l'acceptation des centres de traitement, ➤ Sécurité géotechnique : Mise en œuvre, si nécessaire de structures de soutènement simple (blindage, talutage, parois coulissantes...), ➤ Mise en place des zones de stockage temporaire dans l'emprise du site générant un encombrement. 	<p>Durée : max. 1 à 2 mois pour une surface limitée d'intervention – durée calée sur la durée des terrassements pour la construction du bâtiment</p> <p>Env. 2000 m³ à excaver</p> <p>Coûts environ : 180 - 360 k€</p> <p>+ surcoût d'environ 200 €/t de remblais amiantés, le cas échéant</p> <p>Les coûts sont indiqués à +/- 25% incertitude.</p>	<p>++ OUI</p> <p>Traitement local et ponctuel des pollutions résiduelles dans les sols</p>
Opération I.2 Décapage pour tranchées VRD, parkings et zone du cirque	➤ Sol situé en zone non saturée	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Prélèvements et analyses à réaliser lors de la réalisation des tranchées ➤ En raison du dépôt historique d'amiante en sous-sol et malgré l'absence d'identification lors des investigations la procédure SS4 (le cas échéant plan de retrait SS3) devra être appliquée pour tous les travaux en sous-sol sur l'ensemble du site. ➤ Décapage du sol et analyses amiante et Pack ISDI pour orienter le transport et traitement hors site des terres et déchets, ➤ Mise en place des canalisations dans des matériaux sains et remblaiement des tranchées par matériaux d'apport extérieur d'origine contrôlée et mise en place d'une dalle béton pour construction du bâtiment ou de couverture minérale, ➤ Couverture minérale (asphalte + sous-couche, béton) avec servitude. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Des excavations de terrassements sont inévitables dans la configuration actuelle du projet de bâtiment nautique, ➤ Extraction de source concentrée de polluants sur des spots limités, ➤ Réalisation rapide coordonnée avec les terrassements du bâtiment pour grouper les stockages et transports de terres vers les centres, ➤ Mise en œuvre relativement simple, ➤ Possibilité d'intervenir dans différentes parties du site en même temps. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Nuisances pour les populations riveraines et occupants du site à prendre en compte (odeur, bruit, exposition,), ➤ Mesures HSE très importantes et strictes (procédures, confinement, EPI, surveillance, explosimètre ...), ➤ Coûts d'excavation Sous-Section 4, de transport et de mise en décharge amiante le cas échéant, ➤ Augmentation de la circulation de camions (transport des déchets) et impact sur les nuisances (pollution, bruit, odeurs), ➤ Gestion des eaux de pluies (polluées) impliquant un traitement et une élimination, ➤ Bilan énergétique très négatif, ➤ Mise en place des zones de stockage temporaire dans l'emprise du site générant un encombrement, ➤ Matériaux soumis à l'acceptation des centres de traitement, ➤ Mise en place d'une servitude de maintenance des recouvrements : servitudes (SUP) concernant les limitations d'usage du sous-sol et la maintenance de couvertures saines (asphalte + sous-couche, béton). 	<p>Durée : max. 1 à 2 mois pour une surface limitée d'intervention – durée calée sur la durée des terrassements pour la construction du bâtiment</p> <p>Env. 250 m³ à excaver</p> <p>Coûts environ : 20 - 50 k€</p> <p>+ surcoût d'environ 200 €/t de remblais amiantés, le cas échéant</p> <p>Les coûts sont indiqués à +/- 25% incertitude.</p>	<p>++ OUI</p> <p>Traitement local et ponctuel des pollutions résiduelles dans les sols</p>

Option de gestion	Milieu et zone traité	Présentation succincte / moyen mis en œuvre	Avantages	Inconvénients	Approche de coûts et durée	Option technique envisageable
Opération I.3 : Zones découvertes « d'espaces verts » Option A recouvrement	➤ Sol situé en zone non-saturée	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Dimensionnement par investigations complémentaires sur le reste du site ➤ Couverture avec des sols propres >30 cm (terre végétale) avec servitude dans les zones de dépassement des seuils de coupure de sources de pollution (Arsenic, Plomb et Benzo(a)pyrène) ➤ En raison du dépôt historique d'amiante en sous-sol et malgré l'absence d'identification lors des investigations la procédure SS4 (le cas échéant plan de retrait SS3) devra être appliquée pour tous les travaux en sous-sol sur l'ensemble du site. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Eviter les excavations et la dispersion des fibres d'amiante le cas échéant, ➤ Eviter un chantier très coûteux de retrait des déchets amiantés le cas échéant. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mise en place d'une servitude de maintenance des recouvrements : servitudes (SUP) concernant les limitations d'usage du sous-sol et la maintenance de couvertures saines (terre végétale de 30 cm minimum). 	<p>Durée : quelques semaines à l'issue des travaux de terrassements – intervention à coordonner avec la construction du bâtiment</p> <p>Maintenance : Env. 5 - 8 k€/an</p>	++ OUI
Opération I.3 : Zones découvertes « d'espaces verts » Option B excavations	➤ Sol situé en zone non-saturée	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Dimensionnement par investigations complémentaires ➤ Excavations des sols dans les zones sources de pollution où les seuils de coupure ont été dépassés, Transport et traitement hors site des terres et des déchets (biocentre, ISDD). ➤ En raison du dépôt historique d'amiante en sous-sol et malgré l'absence d'identification lors des investigations la procédure SS4 (le cas échéant plan de retrait SS3) devra être appliquée pour tous les travaux en sous-sol sur l'ensemble du site. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Extraction de source concentrée de polluants sur des surfaces limitées, ➤ Réalisation rapide coordonnée avec les terrassements du bâtiment pour grouper les stockages et transports de terres vers les centres, ➤ Mise en œuvre relativement simple, ➤ Possibilité d'intervenir dans différentes parties du site en même temps. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Nuisances pour les populations riveraines et occupants du site à prendre en compte (odeur, bruit, exposition,), ➤ Mesures HSE très importantes et strictes (procédures, confinement, EPI, surveillance, explosimètre ...), ➤ Coûts d'excavation Sous-Section 4, de transport et de mise en décharge amiante le cas échéant, ➤ Augmentation de la circulation de camions (transport des déchets) et impact sur les nuisances (pollution, bruit, odeurs), ➤ Gestion des eaux de pluies (polluées) impliquant un traitement et une élimination, ➤ Bilan énergétique très négatif, ➤ Mise en place des zones de stockage temporaire dans l'emprise du site générant un encombrement. ➤ Matériaux soumis à l'acceptation des centres de traitement. 	<p>Durée : selon trouvailles Env. 500 m³ à excaver</p> <p>Coûts environ : 40 - 100 k€ + surcoût d'environ 200 €/t de remblais amiantés, le cas échéant</p> <p>Les coûts sont indiqués à +/- 25% incertitude.</p>	NON Coût disproportionné en comparaison du recouvrement
OPERATION II : MILIEUX GAZ DU SOL						
Opération II : Modalités constructives pour les gaz du sol	➤ Gaz du sol	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mise en place de drainages de gaz et/ou Vides sanitaires ventilés avec évacuation des gaz sous ATEX (système double avec report d'alarme et maintenance régulière), ➤ Surveillance mensuelle des CH₄, BTEX et HC5-16 des Gaz du sol des drainages de gaz et/ou Vides sanitaires et de l'air d'évacuation pendant 1 an et trimestriellement ensuite, ➤ Etanchéification du Centre Nautique (sous-bassement, afin d'éviter la pénétration des eaux, dans le cas des montées des eaux pendant pleine mer (Coefficient entre 115 – 120 et tempête de Nord & Nord-Est) → A assurer par l'Architecte avec garantie décennale. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Evite l'accumulation du méthane sous le bâtiment et dans les vides sanitaires, ➤ Coupe le transfert des gaz du sol vers l'air ambiant des bâtiments. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Coûts élevés de mise en place de zones ATEX, ➤ Modifications dans la conception du bâtiment (réservations pour les drainages de gaz, mise en place d'un système d'évacuation des gaz sous ATEX), ➤ Monitoring des gaz évacués à réaliser régulièrement. 	<p>Budget à définir par l'architecte</p>	++ OUI

5.5. Options de gestion retenues pour le traitement

En tenant compte des contraintes spécifiques du site, du contexte environnemental, de la configuration du site, des contraintes techniques en découlant, de la présence significative d'un panel des polluants dans plusieurs milieux et des volumes à traiter, les mesures de gestion envisagées à ce stade sont présentées ci-après, à la suite de l'analyse par le Bilan Coûts-Avantages. Une dépollution des différents milieux impactés en plusieurs étapes est préconisée en fonction des différentes phases de travaux d'aménagement du Centre Nautique et qui concerne les milieux : « sols et gaz du sol ».

Préconisations HSE durant le chantier :

- ❖ En raison du dépôt historique d'amiante en sous-sol et malgré l'absence d'identification lors des investigations la **procédure SS4** (le cas échéant plan de retrait SS3) devra être appliquée pour tous travaux d'excavations ou de décapages,
- ❖ **Surveillance des CH₄, BTEX et HC5-16** dans les Gaz du sol et l'air ambiant et également l'**amiante** dans l'air ambiant (assurer des teneurs inférieures aux valeurs limites),
- ❖ Surveillance dans les fouilles des LIE (**Méthane**) par explosimètre en permanence lors de la réalisation des travaux,
- ❖ En cas de concentrations supérieures à 0,1 LIE : Mesures d'insufflation de l'air dans les fouilles pour la continuité des excavations jusqu'à obtenir des concentrations inférieures à 0,1 LIE (Limite inférieure d'explosion),
- ❖ Dans le cas d'excavations et forages dans les sédiments du port à un niveau inférieur au remblaiement de 1990, réalisation au préalable de **détections des risques pyrotechniques** (dans toutes les cas cette détection est nécessaire concernant les excavations pour des fondations de la cale et concernant des forages pour les pieux des fondations).

Phase I : Milieu « sols »

- ❖ **I.1 Excavations des zones sources de pollution, emprise du futur bâtiment**
 - Excavations (sous-section 4) des zones sources de pollution lors des travaux de construction du bâtiment et évacuation en centre(s) de traitement agréé(s),
 - Analyses amiante et Pack ISDI pour orienter le transport et traitement hors site des terres et déchets,

- Remblaiement des fouilles par matériaux d'apport extérieur d'origine contrôlée et mise en place d'une dalle béton pour construction du bâtiment.

- ❖ **I.2 Décapage en Sous-section 4 (SS4) de protection contre l'Amiante pour les tranchées VRD, les parkings et la zone du cirque**
- Prélèvements et analyses à réaliser lors de la réalisation des tranchées et décapages,
- Analyses amiante et Pack ISDI pour orienter le transport et traitement hors site des terres et déchets,
- Mise en place des canalisations dans des matériaux sains et remblaiement des tranchées par matériaux d'apport extérieur d'origine contrôlée et mise en place d'une dalle béton pour construction du bâtiment ou d'une couverture minérale,
- Servitudes (SUP) concernant les limitations d'usage du sous-sol et la maintenance de couvertures saines (béton, asphalte, etc.).

- ❖ **I.3 Zones découvertes « d'espaces verts » - Option A - Recouvrement**
- Dimensionnement par investigations complémentaires
- Couverture saine (terre végétale >30 cm, ou par l'asphalte ou du béton) dans les zones de dépassement des seuils (Arsenic, Plomb et Benzo(a)pyrène)),
- Servitudes (SUP) concernant les limitations d'usage du sous-sol et la maintenance de couvertures saines (terre végétale > 30 cm).

Phase II : Milieu « Gaz des sols »

❖ **II. Modalités constructives**

- Mise en place de drainages de gaz et/ou Vides sanitaires ventilés avec évacuation des gaz sous ATEX (système double avec report d'alarme et maintenance régulière),
- Surveillance mensuelle des CH₄, BTEX, HC5-16 et COHV des Gaz du sol des drainages de gaz et/ou Vides sanitaires et de l'air d'évacuation pendant 1 an et trimestriellement ensuite,
- Etanchéification du Centre Nautique (sous-bassement, afin d'éviter la pénétration des eaux, dans le cas des montées des eaux pendant pleine mer (Coefficient entre 115 – 120 et tempête de Nord & Nord-Est) → A assurer par l'Architecte avec garantie décennale.

6. Conclusion

Dans la perspective de la construction d'un centre nautique rue Jeanne d'Arc à Roscoff (29), la Mairie de Roscoff souhaite réaliser des terrassements sur le polder, aménagé entre 1989 et 1985 et partiellement remblayé sur une hauteur d'environ 3 m.

Les investigations réalisées par HPC INTERNATIONAL de septembre à décembre 2021 ont montré, sur l'emprise du futur bâtiment, l'existence d'un impact en Eléments Traces Métalliques (en particulier Arsenic et Plomb) et en HAP (notamment en Benzo(a)pyrène) dans les sols et en Méthane, BTEX et HC5-16 dans les des gaz du sol.

- **Zones Sources de pollution**

Dans les sols : Des sources de pollutions concentrées en Eléments Traces Métalliques (notamment Arsenic et Plomb) et Benzo(a)pyrène ont été identifiées en bordure Sud et Sud-est au droit de l'emprise du futur bâtiment.

Dans les gaz du sol, des sources de pollutions concentrées en Méthane ont été détectées au droit de l'emprise du futur bâtiment (à l'est). Concernant la présence d'Hydrocarbures HC₅-HC₁₆, et de BTEX dans les gaz du sol, il ne s'agit pas de pollutions concentrées mais de pollutions diffuses qui ne nécessitent pas un traitement spécifique. Ces paramètres seront toutefois suivis lors du monitoring post travaux (cf chapitre 5).

- **Validation des objectifs du traitement**

Un traitement des zones par recouvrement des sources de pollution concentrée dans les sols a été retenu pour réaliser la validation sanitaire de la gestion de ces sources. Une Analyse des Risques sanitaires Résiduels (ARR) a été réalisée pour valider les concentrations résiduelles théoriques après recouvrement. Des seuils de coupure ont été définis pour l'Arsenic, le Plomb et le Benzo(a)pyrène et représentent les concentrations maximales acceptables après recouvrement (sols sains ou couverture minérale) des zones sources de pollutions concentrées.

Les résultats de la quantification des risques sanitaires résiduels basés sur ces seuils de coupure et les concentrations résiduelles théoriques après recouvrement ont permis de conclure que les niveaux de risques cancérigènes et non cancérigènes sont inférieurs aux limites acceptables

respectivement de 1,00E-05 et 1,00. **Ce résultat a permis de valider les seuils de coupure et donc les techniques de dépollution préalablement envisagées.**

- **Options de gestion retenues pour les traitements des sources de pollution**

La réalisation d'un Bilan Coûts-Avantages a permis de choisir plusieurs options techniques pour le traitement et la gestion des pollutions présents dans les différents milieux impactés :

Pour les sols : traitement des sols par excavations en Sous-Section 4 (SS4 : prévention contre les risques de l'amiante) des zones sources de pollutions au droit du futur Centre Nautique lors des travaux de construction du bâtiment et évacuation des sols et matériaux en centre(s) de traitement agréé(s). Concernant le reste du site : Décapage et recouvrement sain (asphalte + sous-couche, béton, terre végétale >30 cm, etc.) pour la réalisation des tranchées VRD, des parkings et la zone du cirque, et dans les zones d'espaces verts où les seuils de coupure sont dépassés.

Pour les gaz du sol : Mise en place des drainages de gaz et/ou Vides sanitaires ventilés avec évacuation des gaz sous ATEX (système double avec report d'alarme et maintenance régulière). Par ailleurs, l'étanchéification du Centre Nautique doit être assurée. Une surveillance mensuelle des CH₄, BTEX et HC5-16 devra être réalisée pendant 1 an et trimestriellement ensuite.

Ce Plan de Gestion sera complété par la réalisation d'un dossier SUP (Servitude d'Utilité Publique) afin de définir :

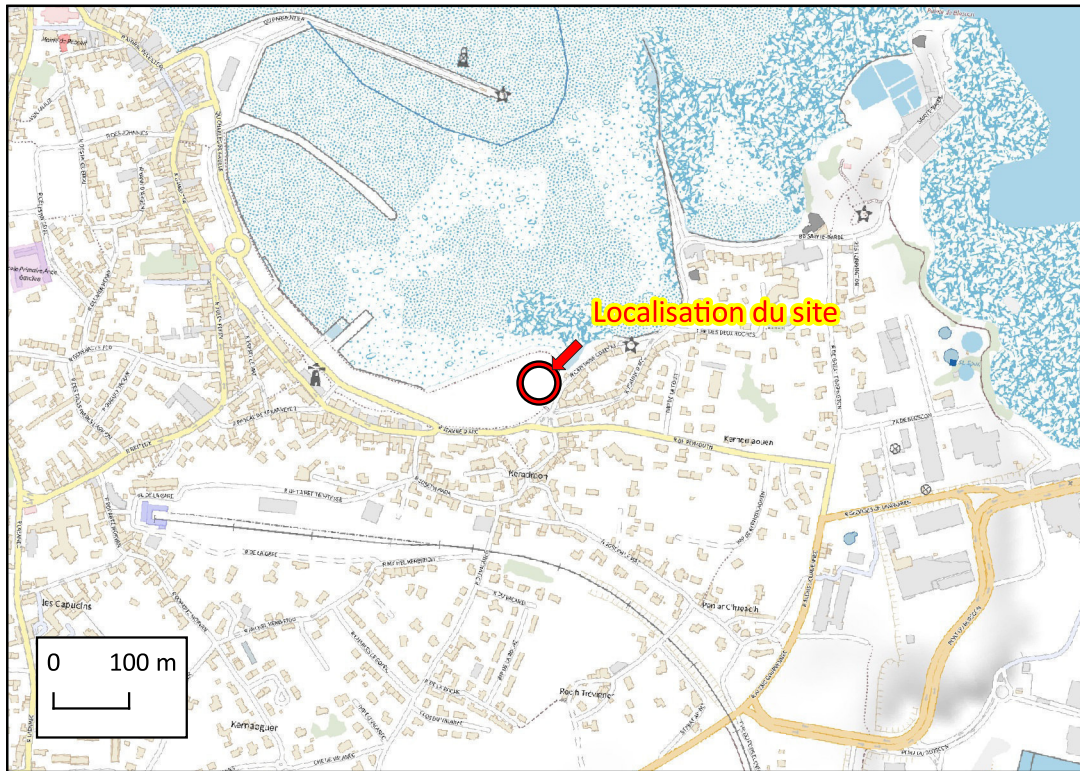
- La zone sous limitation d'usages du sous-sol (travaux en sous-sol interdits et seulement autorisés en Sous-Section 4 (SS4 : prévention contre les risques de l'amiante),
- Maintenance de couvertures saines en surface (asphalte + sous-couche, béton, terre végétale de 30 cm min.), conduites d'eaux potables dans un lit de gravillons propres,
- Maintenance des dispositifs de prévention constructifs contre les gaz du sol (évacuation des gaz par drainages et/ou vides sanitaires et traitement éventuel sur Charbon actif),
- Obligations de surveillance mensuelle des CH₄, BTEX et HC5-16 des Gaz du sol issus des drainages de gaz et/ou Vides sanitaires et de l'air d'évacuation pendant 1 an et trimestriellement ensuite,

- Mesure des CH₄, BTEX et HC5-16 des Gaz du sol dans les conduites des réseau (Eau pluviale, etc.) et tranchées pour réseaux (câbles, etc.) avant et pendant travaux (2 x par jour au min. pendant les travaux).
- Dans le cas d'excavations et forages dans les sédiments du port à un niveau inférieur au remblaiement de 1990, réalisation au préalable de détections des risques pyrotechniques (dans toutes les cas cette détection est nécessaire concernant les excavations pour des fondations de la cale et concernant des forages pour les pieux des fondations).



Suite à la validation du Plan de Gestion par l'ensemble des parties prenantes, un Plan de Conception des Travaux de dépollution pourra être réalisé en vue de définir précisément les modalités de gestion validées.

ANNEXE 1

LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DU SITE (EXTRAIT CARTE IGN)



LEGENDE :

-  Point de localisation du site
-  Limite du site



Projet : Commune de Roscoff

Carte de localisation du site	Index :			
	Echelle :		1:2 000 (A3)	
	N° de projet :			
			Date :	Nom :
	Dessinateur :			
Vérificateurs :				

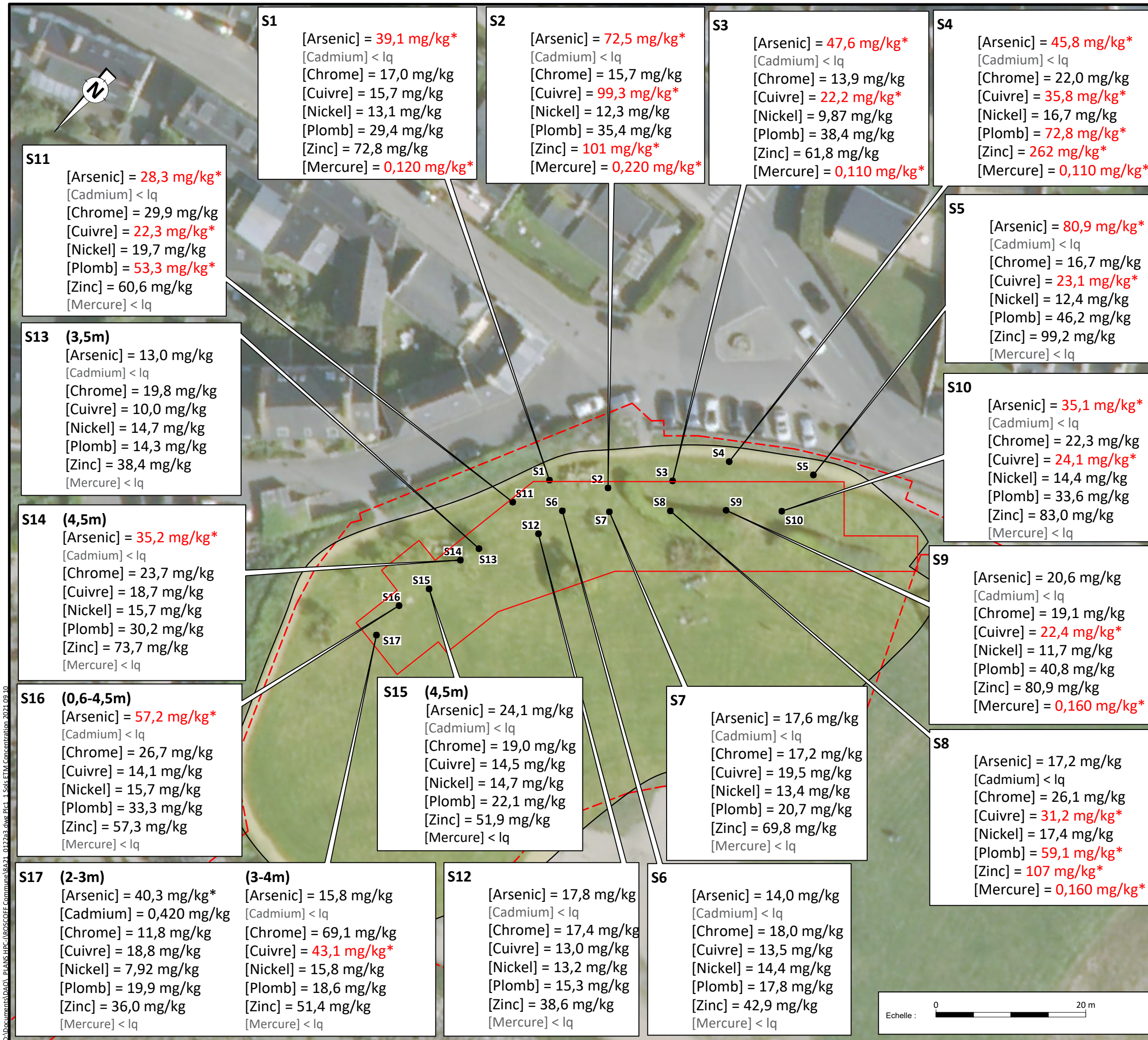
<p>Client :</p> <p style="text-align: center;">COMMUNE DE ROSCOFF</p>	<p>Auteur :</p> <p style="text-align: center;">HPC </p> <p style="font-size: small;">HPC INTERNATIONAL Hôtel de Recherche Centre de Perharidy 29680 ROSCOFF</p>
--	---

ANNEXE 2

CARTOGRAPHIES DES RESULTATS DES INVESTIGATIONS

ANNEXE 2.1

Cartographies des résultats dans les sols



Investigations :

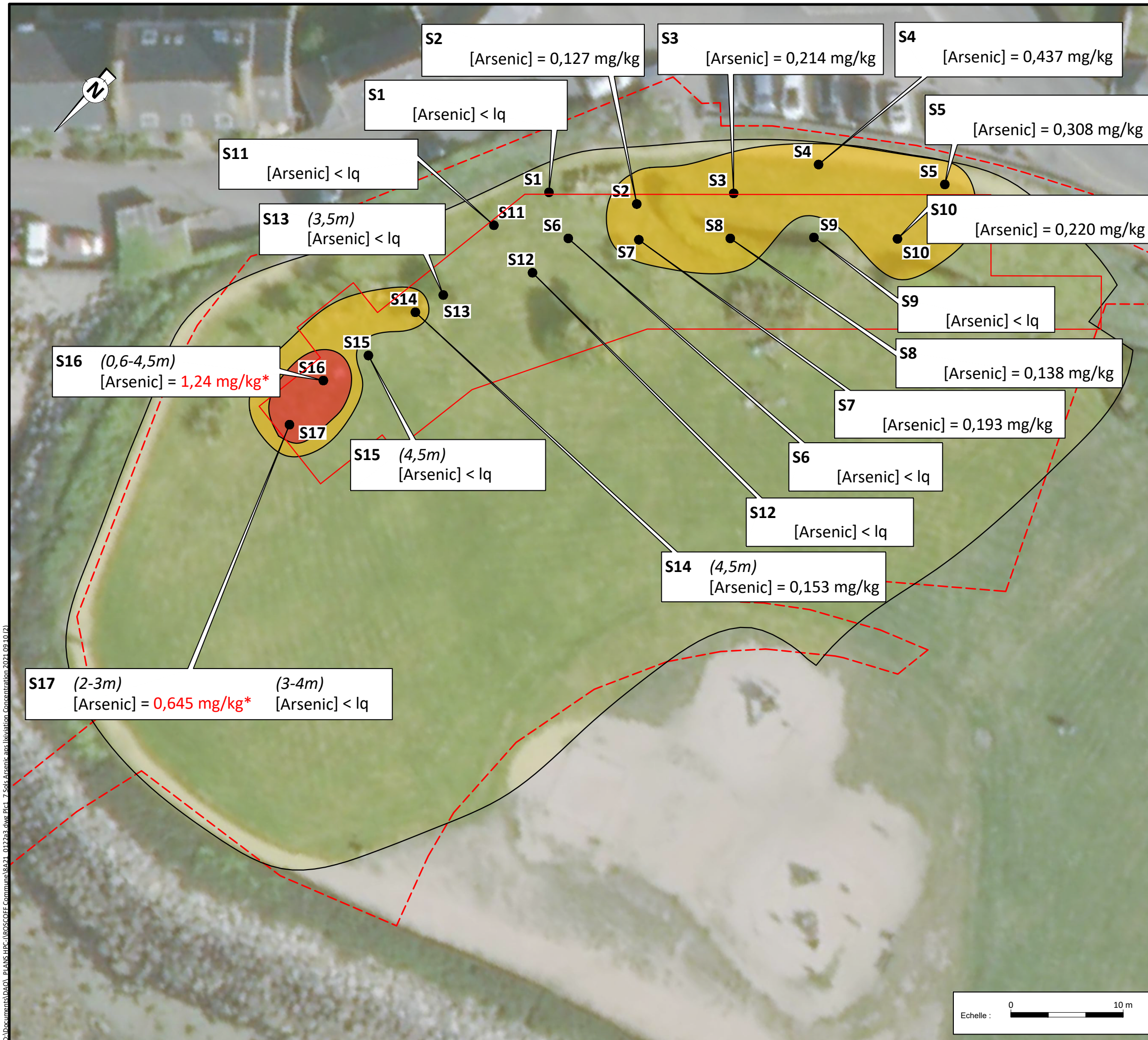
- Si (S1 à S17): Sondages (pack ISD + Amiante) - SS4

- Zone des travaux
- ▭ Emprise du futur bâtiment
- Limite du site

[Zinc] = 262 mg/kg* :
 Valeur supérieure à la borne supérieure de la "Gamme de valeurs couramment observées dans les sols ordinaires de toutes granulométries" - INRA-ASPITET, 1997

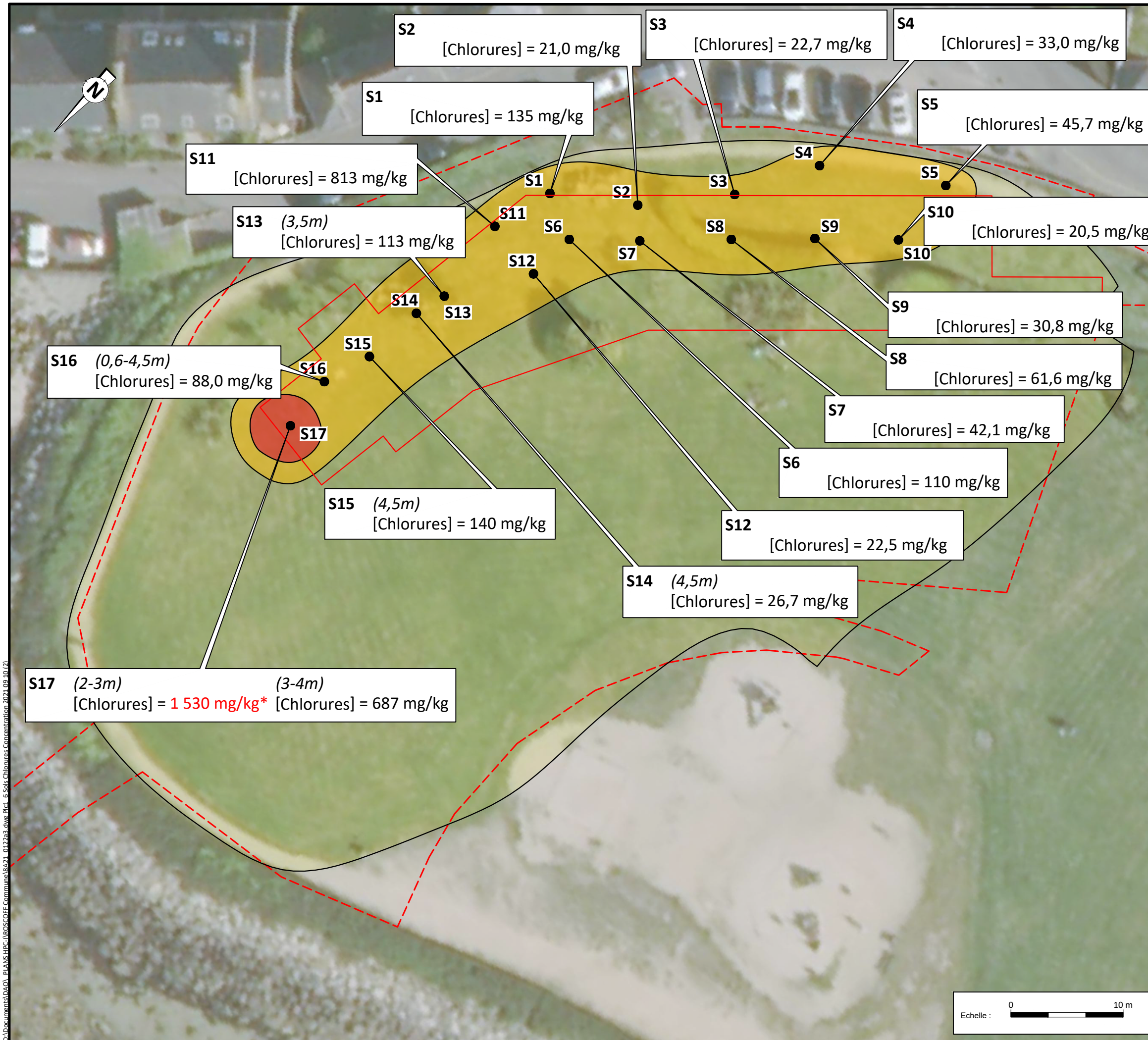
Projet :		Projet Centre Nautique sis rue Jeanne d'Arc à ROSCOFF (29)	
Titre :	Projet n° :	8.21.0122	
	Echelle :		
	Fichier :	8A21_0122a3.dwg	
	Dessinateur :	YT	
Demandeur :	MG	06/10/2021	
	Responsable :	GR	
Client :		Commune de Roscoff	
		 <small>HPC INTERNATIONAL Hôtel de Recherche Centre de Perharidy 29680 ROSCOFF</small>	

P:\Documents\DAO\PIANS HPC-IBROSCOFF Communes\8A21_0122a3.dwg Plct_1 Site ETM Concentration_2021_09_10



Projet : Projet Centre Nautique sis rue Jeanne d'Arc à ROSCOFF (29)	
Titre : Carte d'isoconcentration dans les sols - Arsenic - (après lixiviation) (10 septembre 2021)	Projet n° : 8.21.0122
	Echelle :
	Fichier : 8A21_0122a3.dwg
	Dessinateur : YT Demandeur : MG Responsable : GR
06/10/2021	
Client : Commune de Roscoff	

P:\Documents\DAO\ - PLANS HPC- ROSCOFF Communes\8A21_0122a3.dwg - Plc1 - 7-Sols-Arsenic-ans lixiviation- Concentration 2021.09.10.121



Investigations :

- Si (S1 à S17): Sondages (pack ISD + Amiante) - SS4

Zone des travaux
 Emprise du futur bâtiment
 Limite du site

Zones de dépassement de la limite d'admission ISDI (Arrêté du 12 décembre 2014)

- lq < [] ≤ 800 mg/kg (admission ISDI)
- > 800 mg/kg (admission ISDI)

Projet : **Projet Centre Nautique sis rue Jeanne d'Arc à ROSCOFF (29)**

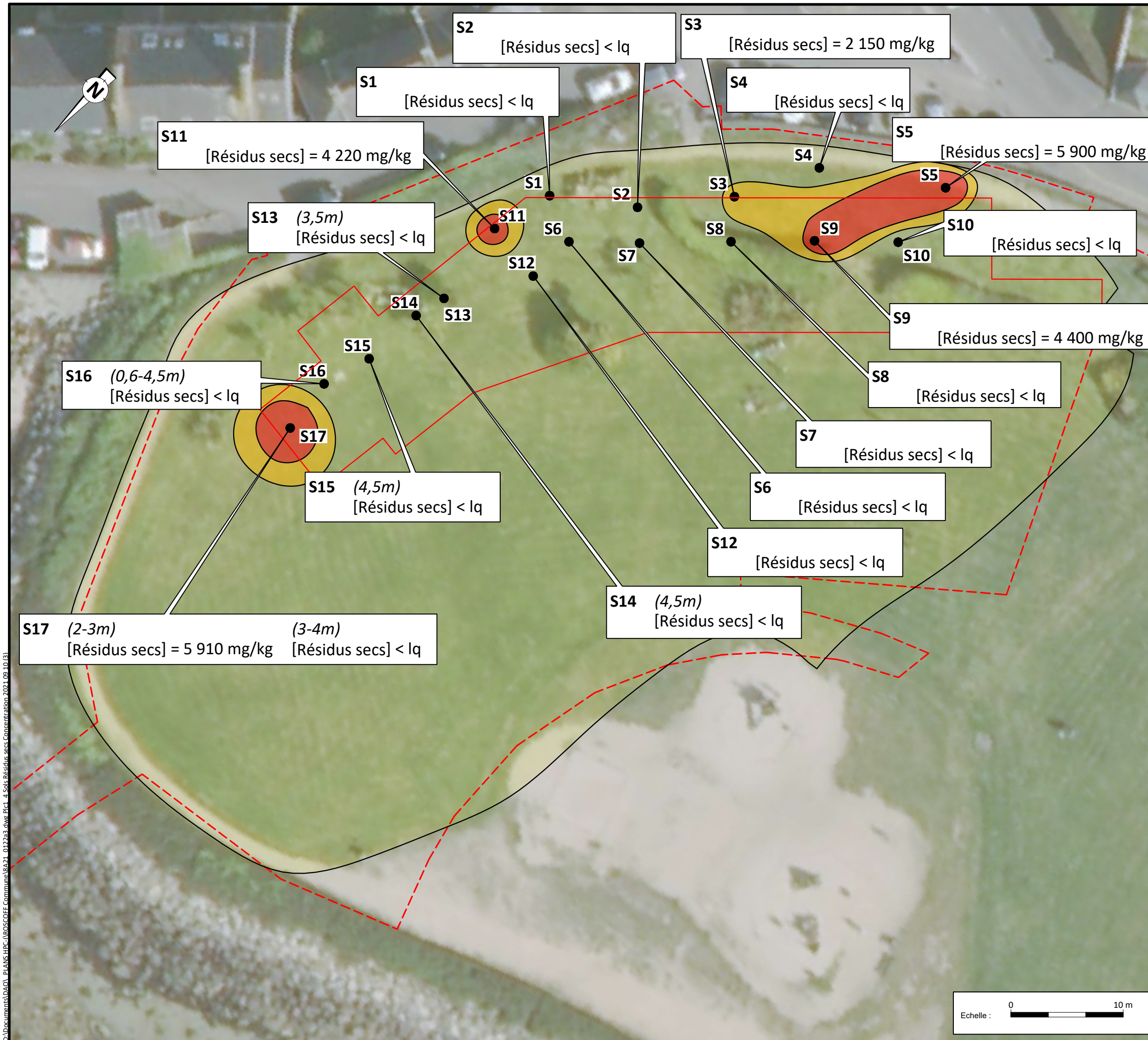
Carte d'isoconcentration dans les sols - Chlorures - (après lixiviation) (10 septembre 2021)	Projet n° :	8.21.0122
	Echelle :	1:500 (A3)
	Fichier :	8A21_0122a3.dwg
	Dessinateur :	YT
	Demandeur :	MG
Responsable :	GR	06/10/2021

Client : **Commune de Roscoff**



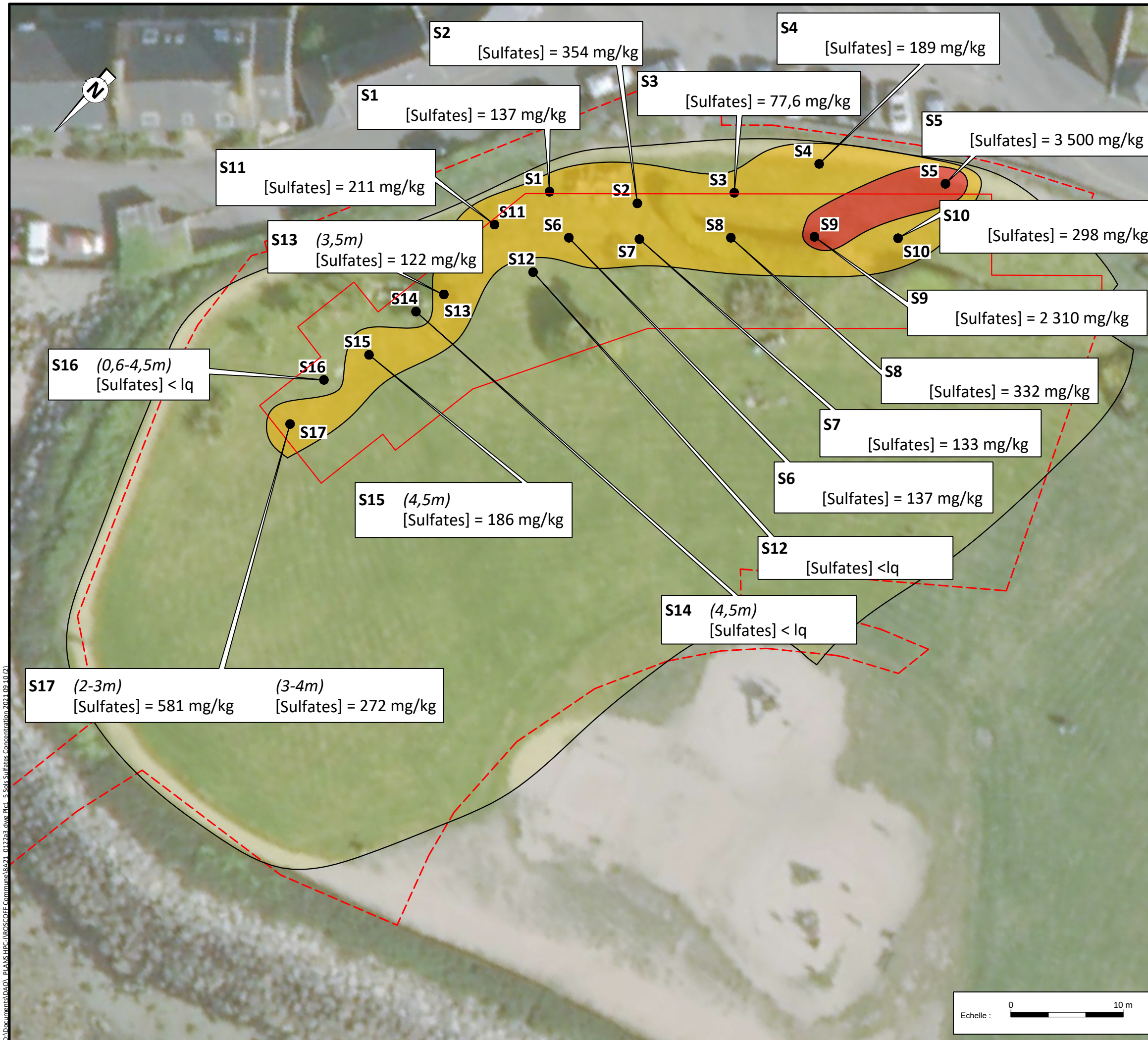
HPC
INTERNATIONAL
Hôtel de Recherche
Centre de Perharidy
29680 ROSCOFF

P:\Documents\DAO\PIANS HPC-IBROSCOPE Communes\8A21_0122a3.dwg:plc_6_Sols Chlorures Concentration 2021_09_10.rvt



Projet :		Projet Centre Nautique sis rue Jeanne d'Arc à ROSCOFF (29)	
Titre :	Projet n° :	8.21.0122	
	Echelle :		
	Fichier :	8A21_0122a3.dwg	
	Dessinateur :	YT	
Demandeur :	MG	06/10/2021	
	Responsable :	GR	
Client :		Commune de Roscoff	
Carte d'isoconcentration dans les sols - Résidus secs à 105°C - (après lixiviation) (10 septembre 2021)		 HPC INTERNATIONAL Hôtel de Recherche Centre de Perharidy 29680 ROSCOFF	

P:\Documents\DAO\PIANS HPC-IBROSCOFF Communes\8A21_0122a3.dwg - Plct_4_Sols_Résidus secs Concentration 2021_09_10.rvt




Investigations :

- **Si (S1 à S17):** Sondages (pack ISD + Amiante) - SS4

Zone des travaux
 Emprise du futur bâtiment
 Limite du site

Zones de dépassement de la limite d'admission ISDI (Arrêté du 12 décembre 2014)

$lq < [] \leq 1\,000$ mg/kg (admission ISDI)
 $> 1\,000$ mg/kg (admission ISDI)

Projet :		Projet Centre Nautique sis rue Jeanne d'Arc à ROSCOFF (29)	
Titre :	Projet n° :	8.21.0122	
	Echelle :		
	Fichier :	8A21_0122a3.dwg	
	Dessinateur :	YT	
Demandeur :	MG	06/10/2021	
	Responsable :	GR	
Client :		Commune de Roscoff	
		 HPC INTERNATIONAL Hôtel de Recherche Centre de Perharidy 29680 ROSCOFF	

P:\Documents\DAO\PIANS HPC-IBROSCOFF Communes\8A21_0122a3.dwg.plt - 5.Sols_sulfates Concentration 2021.09.10.r21



Projet : **Projet Centre Nautique sis rue Jeanne d'Arc à ROSCOFF (29)**

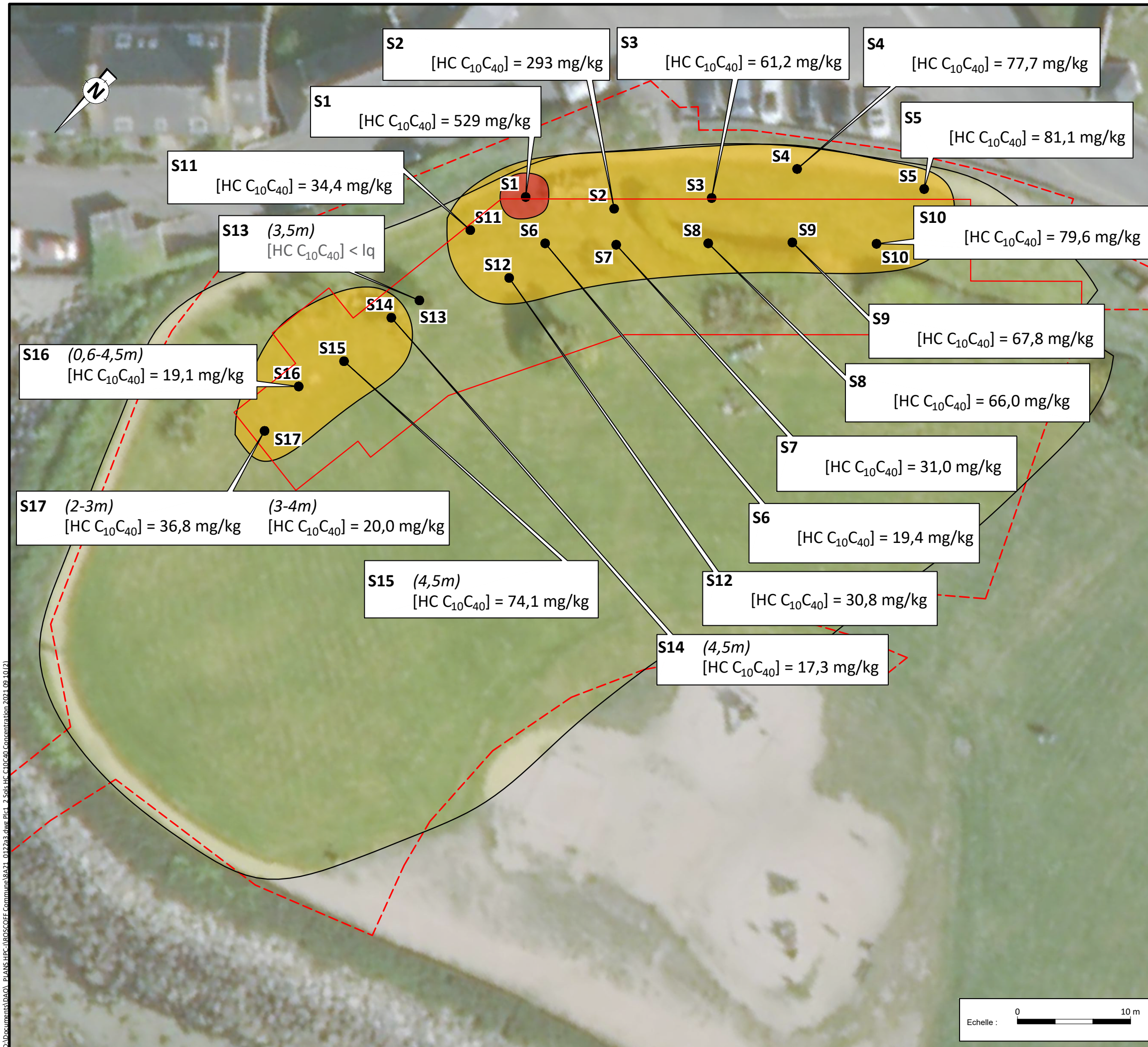
Titre : **Carte d'isoconcentration dans les sols - Σ HAP - (10 septembre 2021)**

Projet n° :	8.21.0122
Echelle :	
Fichier :	8A21_0122a3.dwg
Dessinateur :	YT
Demandeur :	MG
Responsable :	GR
	06/10/2021

Client : **Commune de Roscoff**

HPC
HPC INTERNATIONAL
Hôtel de Recherche
Centre de Perharidy
29680 ROSCOFF

P:\Documents\DAO\PIANS HPC-IBROSCOPE Communes\8A21_0122a3.dwg - Plot - 3.Sols.HAP - Concentration 2021.09.10.rvt



Projet Centre Nautique sis rue Jeanne d'Arc à ROSCOFF (29)															
Titre : Carte d'isoconcentration dans les sols - HC C₁₀C₄₀ - (10 septembre 2021)	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Projet n° :</td><td>8.21.0122</td></tr> <tr><td>Echelle :</td><td></td></tr> <tr><td>Fichier :</td><td>8A21_0122a3.dwg</td></tr> <tr><td>Dessinateur :</td><td>YT</td></tr> <tr><td>Demandeur :</td><td>MG</td></tr> <tr><td>Responsable :</td><td>GR</td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: right;">06/10/2021</td></tr> </table>	Projet n° :	8.21.0122	Echelle :		Fichier :	8A21_0122a3.dwg	Dessinateur :	YT	Demandeur :	MG	Responsable :	GR		06/10/2021
Projet n° :	8.21.0122														
Echelle :															
Fichier :	8A21_0122a3.dwg														
Dessinateur :	YT														
Demandeur :	MG														
Responsable :	GR														
	06/10/2021														
Client : Commune de Roscoff	 HPC INTERNATIONAL Hôtel de Recherche Centre de Perharidy 29680 ROSCOFF														

P:\Documents\DAO\ - PLANS HPC-IBROSCOPE Communes\8A21_0122a3.dwg - Plot 2 - Sols HC C10C40 - Concentration 2021.09.10 (2)

ANNEXE 2.2

Cartographies des résultats dans les gaz du sol



Investigations :

- ⊗ **Pai** (Pa1 à Pa11): Piézairs - HPC 2021
- Zone des travaux
- ▭ Emprise du futur bâtiment
- ▭ Limite du site

Zones de dépassement de l'objectif de qualité de l'air (Art. R221-1 du Code de l'Environnement)

- > 0,002 mg/m³

Projet :		Projet Centre Nautique sis rue Jeanne d'Arc à ROSCOFF (29)	
Titre :	Projet n° :	8.21.0122	
	Echelle :		
	Fichier :	8A21_0122a3.dwg	
	Dessinateur :	YT	
Client :	Demandeur :	MG	14/10/2021
	Responsable :	GR	
Client :		Commune de Roscoff	
		 HPC INTERNATIONAL Hôtel de Recherche Centre de Perharidy 29680 ROSCOFF	

P:\Documents\DAO\ - PLANS HPC - ROSCOFF Communes\8A21_0122a3.dwg - Piel - 2.GDS Benzène Concentration 2021.09.23 - 27/21



Pa15 [Benzène]
Basse mer < lq

Pa13 [Benzène]
Basse mer < lq

Pa14 [Benzène]
Basse mer < lq

Pa16 [Benzène]
Basse mer < lq


Pa17 [Benzène]
Basse mer < lq

- ⊗ Pa12 : Piézair inexploitable
- ⊗ Pa_i (Pa13 à Pa17): Piézairs
HPC I - nov 2021

- Zone des travaux
- Emprise du futur bâtiment
- Limite du site

Zones de dépassement de l'objectif de qualité de l'air (Art. R221-1 du Code de l'Environnement)
 > 0,002 mg/m³

P:\Documents\DAO\PIANS HPC-IBOSCOFF Communes\8A21_0122a5.dwg Plc4_2.GDS BM Benzène Concentration 2021.L22_3

Projet :		Projet Centre Nautique sis rue Jeanne d'Arc à ROSCOFF (29)	
Titre : Cartographie des résultats dans les gaz du sol (marée basse) - Benzène - (2 et 3 décembre 2021)	Projet n° :	8.21.0122	
	Echelle :		
	Fichier :	8A21_0122a5.dwg	
	Dessinateur :	YT	
	Demandeur :	MG	22/12/2021
	Responsable :	GR	
Client :		Commune de Roscoff	
		 HPC INTERNATIONAL Hôtel de Recherche Centre de Perharidy 29680 ROSCOFF	



Pa15 [Benzène]
Pleine mer < lq

Pa13 [Benzène]
Pleine mer < lq

Pa12

Pa13

Pa14

Pa14 [Benzène]
Pleine mer < lq

Pa15

Pa16

Pa16 [Benzène]
Pleine mer < lq

Pa17

Pa17 [Benzène]
Pleine mer < lq

- ⊗ **Pa12** : Piézair inexploitable
- ⊗ **Pa_i** (Pa13 à Pa17): Piézairs
HPC I - nov 2021

- Zone des travaux
- Emprise du futur bâtiment
- Limite du site

Zones de dépassement de l'objectif de qualité de l'air (Art. R221-1 du Code de l'Environnement)

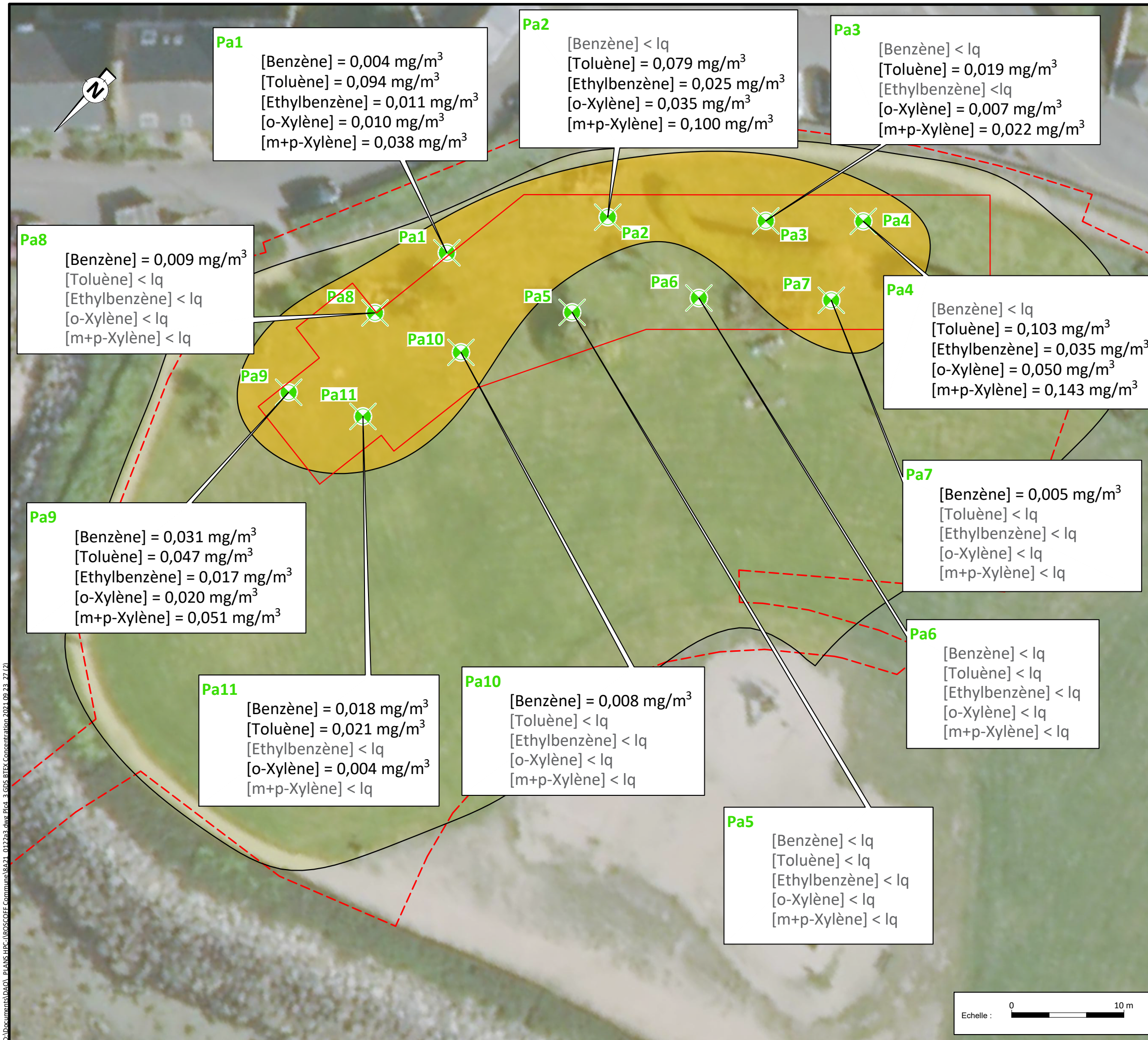
> 0,002 mg/m³

Projet : **Projet Centre Nautique
sis rue Jeanne d'Arc à ROSCOFF (29)**

Titre : Cartographie des résultats dans les gaz du sol (marée haute) - Benzène - (2 et 3 décembre 2021)	Projet n° :	8.21.0122
	Echelle :	
	Fichier :	8A21_0122a5.dwg
	Dessinateur :	YT
	Demandeur :	MG
	Responsable :	GR
		22/12/2021

Cient : **Commune de Roscoff**

P:\Documents\DAO\ - PLANS HPC-IBOSCOFF Communes\8A21_0122a5.dwg Plc4_2_GDS DM Benzène Concentration 2021.L12.2_3



Pa1
 [Benzène] = 0,004 mg/m³
 [Toluène] = 0,094 mg/m³
 [Ethylbenzène] = 0,011 mg/m³
 [o-Xylène] = 0,010 mg/m³
 [m+p-Xylène] = 0,038 mg/m³

Pa2
 [Benzène] < lq
 [Toluène] = 0,079 mg/m³
 [Ethylbenzène] = 0,025 mg/m³
 [o-Xylène] = 0,035 mg/m³
 [m+p-Xylène] = 0,100 mg/m³

Pa3
 [Benzène] < lq
 [Toluène] = 0,019 mg/m³
 [Ethylbenzène] < lq
 [o-Xylène] = 0,007 mg/m³
 [m+p-Xylène] = 0,022 mg/m³

Pa8
 [Benzène] = 0,009 mg/m³
 [Toluène] < lq
 [Ethylbenzène] < lq
 [o-Xylène] < lq
 [m+p-Xylène] < lq

Pa4
 [Benzène] < lq
 [Toluène] = 0,103 mg/m³
 [Ethylbenzène] = 0,035 mg/m³
 [o-Xylène] = 0,050 mg/m³
 [m+p-Xylène] = 0,143 mg/m³

Pa9
 [Benzène] = 0,031 mg/m³
 [Toluène] = 0,047 mg/m³
 [Ethylbenzène] = 0,017 mg/m³
 [o-Xylène] = 0,020 mg/m³
 [m+p-Xylène] = 0,051 mg/m³

Pa7
 [Benzène] = 0,005 mg/m³
 [Toluène] < lq
 [Ethylbenzène] < lq
 [o-Xylène] < lq
 [m+p-Xylène] < lq

Pa11
 [Benzène] = 0,018 mg/m³
 [Toluène] = 0,021 mg/m³
 [Ethylbenzène] < lq
 [o-Xylène] = 0,004 mg/m³
 [m+p-Xylène] < lq

Pa10
 [Benzène] = 0,008 mg/m³
 [Toluène] < lq
 [Ethylbenzène] < lq
 [o-Xylène] < lq
 [m+p-Xylène] < lq

Pa5
 [Benzène] < lq
 [Toluène] < lq
 [Ethylbenzène] < lq
 [o-Xylène] < lq
 [m+p-Xylène] < lq

Investigations :

⊗ **Pa_i** (Pa1 à Pa11): Piézairs - HPC 2021

- Zone des travaux
- Emprise du futur bâtiment
- Limite du site

Zones de dépassement (valeur indicative)

■ > 0,002 mg/m³

Projet :		Projet Centre Nautique sis rue Jeanne d'Arc à ROSCOFF (29)	
Titre : Carte d'isoconcentration dans les gaz du sol - BTEX - (23 et 27 septembre 2021)	Projet n° :	8.21.0122	
	Echelle :		
	Fichier :	8A21_0122a3.dwg	
	Dessinateur :	YT	
Client : Commune de Roscoff	Demandeur :	MG	14/10/2021
	Responsable :	GR	
		 <small>HPC INTERNATIONAL Hôtel de Recherche Centre de Perharidy 29680 ROSCOFF</small>	

P:\Documents\DAO\PIAIS HPC-IBOSCOFF Communes\8A21_0122a3.dwg - PIAIS - 3.GDS BTEX Concentration 2021.09.23 - 27.rvt



- ⊗ Pa12 : Piézair inexploitable
- ⊗ Pa*i* (Pa13 à Pa17): Piézairs
HPC I - nov 2021
- ▭ Zone des travaux
- ▭ Emprise du futur bâtiment
- ▭ Limite du site
- Zones de dépassement (valeur indicative)**
- ▭ > 0,002 mg/m³

Pa15 [Σ BTEX]
Basse mer < lq

Pa15

Pa17

Pa17 [Σ BTEX]
Basse mer < lq

Pa13 [Σ BTEX]
Basse mer < lq

Pa13

Pa16

Pa12

Pa14

Pa16 [Σ BTEX]
Basse mer < lq

Pa14 [Σ BTEX]
Basse mer < lq



Projet :		Projet Centre Nautique sis rue Jeanne d'Arc à ROSCOFF (29)	
Titre :	Projet n° :	8.21.0122	
	Echelle :		
	Fichier :	8A21_0122a5.dwg	
	Dessinateur :	YT	
Demandeur :	MG	22/12/2021	
	Responsable :	GR	
Client :		Commune de Roscoff	
		 HPC INTERNATIONAL Hôtel de Recherche Centre de Perharidy 29680 ROSCOFF	

P:\Documents\DAO\PIANS HPC-ROSCOFF Communes\8A21_0122a5.dwg Plcd_3.GDS BM BTEX Concentration 2021 L12-3



⊗ Pa12 : Piézair inexploitable
 ⊗ Pa*i* (Pa13 à Pa17): Piézairs
 HPC I - nov 2021

■ Zone des travaux
 ■ Emprise du futur bâtiment
 ■ Limite du site

Zones de dépassement (valeur indicative)

■ > 0,002 mg/m³

Projet :		Projet Centre Nautique sis rue Jeanne d'Arc à ROSCOFF (29)	
Titre :	Projet n° :	8.21.0122	
	Echelle :		
	Fichier :	8A21_0122a5.dwg	
	Dessinateur :	YT	
Demandeur :	MG	22/12/2021	
	Responsable :	GR	
Client :		Commune de Roscoff	
		 <small>HPC INTERNATIONAL Hôtel de Recherche Centre de Perharidy 29680 ROSCOFF</small>	

P:\Documents\DAO\PIAIS HPC-IBROSCOPE Communes\8A21_0122a5.dwg Plcd_3.GDS DM BTEX Concentration 2021.09.23.27-2021.12.2-3



Investigations :

⊗ **Pa_i** (Pa1 à Pa11): Piézairs - HPC 2021

- Zone des travaux
- Emprise du futur bâtiment
- Limite du site

Zones de dépassement (valeur toxicologique de référence : VTR chronique pour les effets à seuil - TPHCWG, 1999).

- Iq < [] ≤ 0,2 mg/m³
- > 0,2 mg/m³

Projet : **Projet Centre Nautique sis rue Jeanne d'Arc à ROSCOFF (29)**

Carte d'isoconcentration dans les gaz du sol - HC C₅C₁₆ - (23 et 27 septembre 2021)	Projet n° :	8.21.0122
	Echelle :	
	Fichier :	8A21_0122a3.dwg
	Dessinateur :	YT
Demandeur :	MG	14/10/2021
Responsable :	GR	

Client : **Commune de Roscoff**

P:\Documents\DAO\PIAIS HPC-IBROSCOPE Communes\8A21_0122a3.dwg - PIAIS - 1.GDS.HC.C5C16 Concentration 2021.09.23.r21



Pa15 [HC C₅C₁₆]
Basse mer = 3,85 mg/m³

Pa13 [HC C₅C₁₆]
Basse mer = 5,78 mg/m³

Pa12

Pa13

Pa14

Pa14 [HC C₅C₁₆]
Basse mer = 7,12 mg/m³

Pa15

Pa16

Pa16 [HC C₅C₁₆]
Basse mer = 4,73 mg/m³

Pa17

Pa17 [HC C₅C₁₆]
Basse mer = 5,16 mg/m³

⊗ **Pa12** : Piézair inexploitable

⊗ **Pa_i** (Pa13 à Pa17): Piézairs
HPC I - nov 2021

□ Zone des travaux

□ Emprise du futur bâtiment

□ Limite du site

Zones de dépassement (valeur toxicologique de référence : VTR chronique pour les effets à seuil - TPHCWG, 1999).

□ lq < [] ≤ 0,2 mg/m³

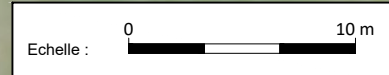
□ > 0,2 mg/m³

Projet : **Projet Centre Nautique**
sis rue Jeanne d'Arc à ROSCOFF (29)

Titre : **Cartographie des résultats dans les gaz du sol (marée basse) - HC C₅C₁₆ - (2 et 3 décembre 2021)**

Projet n° :	8.21.0122
Echelle :	
Fichier :	8A21_0122a5.dwg
Dessinateur :	YT
Demandeur :	MG
Responsable :	GR
	22/12/2021

Client : **Commune de Roscoff**



P:\Documents\DAO\PIANS HPC-IBROSCOPE Communes\8A21_0122a5.dwg Plc3_1.GDS BM.HC C5C16 Concentration 2021.12.23



Pa15 [HC C₅C₁₆]
Pleine mer = 1,49 mg/m³

Pa13 [HC C₅C₁₆]
Pleine mer = 2,95 mg/m³

Pa12

Pa13

Pa14

Pa14 [HC C₅C₁₆]
Pleine mer = 4,20 mg/m³

Pa15

Pa16

Pa16 [HC C₅C₁₆]
Pleine mer = 2,32 mg/m³

Pa17

Pa17 [HC C₅C₁₆]
Pleine mer = 2,39 mg/m³

- ⊗ **Pa12** : Piézair inexploitable
- ⊗ **Pa_i** (Pa13 à Pa17): Piézairs
HPC I - nov 2021

- Zone des travaux
- Emprise du futur bâtiment
- Limite du site

Zones de dépassement (valeur toxicologique de référence : VTR chronique pour les effets à seuil - TPHCWG, 1999).

- $lq < [] \leq 0,2 \text{ mg/m}^3$
- $> 0,2 \text{ mg/m}^3$

Projet : **Projet Centre Nautique
sis rue Jeanne d'Arc à ROSCOFF (29)**

Titre : **Cartographie des résultats dans les gaz du sol (marée haute) - HC C₅C₁₆ - (2 et 3 décembre 2021)**

Projet n° :	8.21.0122
Echelle :	
Fichier :	8A21_0122a5.dwg
Dessinateur :	YT
Demandeur :	MG
Responsable :	GR
	22/12/2021

Client : **Commune de Roscoff**





Investigations :

- ⊗ **Pa_i** (Pa1 à Pa11): Piézaires - HPC 2021
- Zone des travaux
- Emprise du futur bâtiment
- ▭ Limite du site

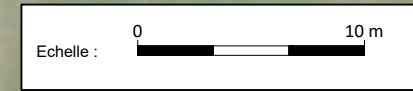
Zones de dépassement (valeur indicative)

- $l_q < [] \leq 30$ ppmV
- $30 < [] \leq 300$ ppmV
- $300 < [] \leq 3\,000$ ppmV
- $3\,000 < [] \leq 10\,000$ ppmV (20 % LIE)⁽¹⁾
- $10\,000 < [] \leq 20\,000$ ppmV (20 - 40 % LIE)⁽¹⁾

⁽¹⁾ : Limite Inferieure d'Explosion du méthane (LIE = 5 % vol)

Projet : Projet Centre Nautique sis rue Jeanne d'Arc à ROSCOFF (29)		
Titre : Cartographie des résultats dans les gaz du sol - Méthane - (23 et 27 septembre 2021)	Projet n° : 8.21.0122	
	Echelle :	
	Fichier : 8A21_0122a3bis.dwg	
	Dessinateur : YT	
	Demandeur : MG	14/10/2021
	Responsable : GR	
Client : Commune de Roscoff		
<p>HPC INTERNATIONAL Hôtel de Recherche Centre de Perharidy 29680 ROSCOFF</p>		

P:\Documents\DAO\PIAIS HPC-IBROSCOFF Communes\8A21_0122a3bis.dwg - Pied_4.GDS Méthane Concentration 2021_09_23_27 (6)





✕ Pa12 : Piézair inexploitable
 ✕ Pa_i (Pa13 à Pa17): Piézairs HPC I - nov 2021

■ Zone des travaux
 ■ Emprise du futur bâtiment
 ■ Limite du site

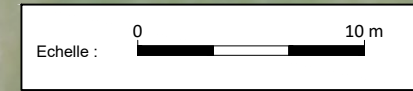
Zones de dépassement (valeur indicative)

■ $lq < [] \leq 30$ ppmV
 ■ $30 < [] \leq 300$ ppmV
 ■ $300 < [] \leq 3\,000$ ppmV
 ■ $3\,000 < [] \leq 10\,000$ ppmV (20 % LIE)⁽¹⁾
 ■ $10\,000 < [] \leq 20\,000$ ppmV (20 - 40 % LIE)⁽¹⁾

(1) : Limite Inferieure d'Explosion du méthane (LIE = 5 % vol)

Projet :		Projet Centre Nautique sis rue Jeanne d'Arc à ROSCOFF (29)	
Titre :	Projet n° :	8.21.0122	
	Echelle :		
	Fichier :	8A21_0122a5.dwg	
	Dessinateur :	YT	
Demandeur :	MG	22/12/2021	
	Responsable :	GR	
Client :		Commune de Roscoff	
		 <small>HPC INTERNATIONAL Hôtel de Recherche Centre de Perharidy 29680 ROSCOFF</small>	

P:\Documents\DAO\PIANS HPC-IBROSCOPE Communes\8A21_0122a5.dwg Plc4_4.GDS BM Méthane Concentration 2021 12 3





⊗ Pa12 : Piézair inexploitable


⊗ Pa_i (Pa13 à Pa17): Piézairs
HPC I - nov 2021

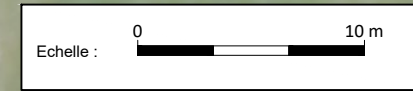
- Zone des travaux
- Emprise du futur bâtiment
- Limite du site

Zones de dépassement (valeur indicative)

- lq < [] ≤ 30 ppmV
- 30 < [] ≤ 300 ppmV
- 300 < [] ≤ 3 000 ppmV
- 3 000 < [] ≤ 10 000 ppmV (20 % LIE)⁽¹⁾
- 10 000 < [] ≤ 20 000 ppmV (20 - 40 % LIE)⁽¹⁾

⁽¹⁾ : Limite Inferieure d'Explosion du méthane (LIE = 5 % vol)

Projet :		Projet Centre Nautique sis rue Jeanne d'Arc à ROSCOFF (29)	
Titre : Cartographie des résultats dans les gaz du sol (marée haute) - Méthane - (2 et 3 décembre 2021)	Projet n° :	8.21.0122	
	Echelle :		
	Fichier :	8A21_0122a5.dwg	
	Dessinateur :	YT	
	Demandeur :	MG	22/12/2021
	Responsable :	GR	
Client :		Commune de Roscoff	
		 HPC INTERNATIONAL Hôtel de Recherche Centre de Perharidy 29680 ROSCOFF	



P:\Documents\DAO\ - PLANS HPC-IBROSCOPE Communes\8A21_0122a5.dwg Plc4_4.GPS DM Méthane Concentration 202112_3

ANNEXE 2.3

Cartographie des résultats dans l'air ambiant



AA3 9 septembre 2021 [Benzène] = 0,180 µg/m ³ [Tétrachlorométhane] = 0,450 µg/m ³ [Chrome] = 0,330 µg/m ³ [Molbydene] = 0,330 µg/m ³	10 septembre 2021 [Benzène] < lq [Tétrachlorométhane] = 0,560 µg/m ³ [Chrome] < lq [Molbydene] < lq	13 septembre 2021 [Benzène] < lq [Tétrachlorométhane] < lq [Chrome] < lq [Molbydene] < lq
---	--	---

AA2 [m+p-Xylène] = 1,50 µg/m ³ [Chrome] = 1,21 µg/m ³ [Nickel] = 1,06 µg/m ³ [Molbydene] = 7,58 µg/m ³

AA3

AA2

AA4

AA4 9 septembre 2021 [Benzène] = 0,150 µg/m ³ [Tétrachlorométhane] = 0,450 µg/m ³ [Chrome] = 0,550 µg/m ³ [Molbydene] = 0,550 µg/m ³	10 septembre 2021 [Benzène] < lq [Tétrachlorométhane] = 0,480 µg/m ³ [Chrome] < lq [Molbydene] < lq	13 septembre 2021 [Benzène] < lq [Tétrachlorométhane] < lq [Chrome] < lq [Molbydene] < lq
---	--	---

AA1 [m+p-Xylène] = 1,51 µg/m ³ [Chrome] < lq [Nickel] = 1,24 µg/m ³ [Molbydene] = 8,00 µg/m ³

AA1



Investigations prévisionnelles :

- **AAi** (AA1 à AA2): prélèvement d'Air Ambiant avant travaux (6 juillet 2021)
- **AAi** (AA3 à AA4): prélèvement d'Air Ambiant pendant travaux (9 - 13 septembre 2021)

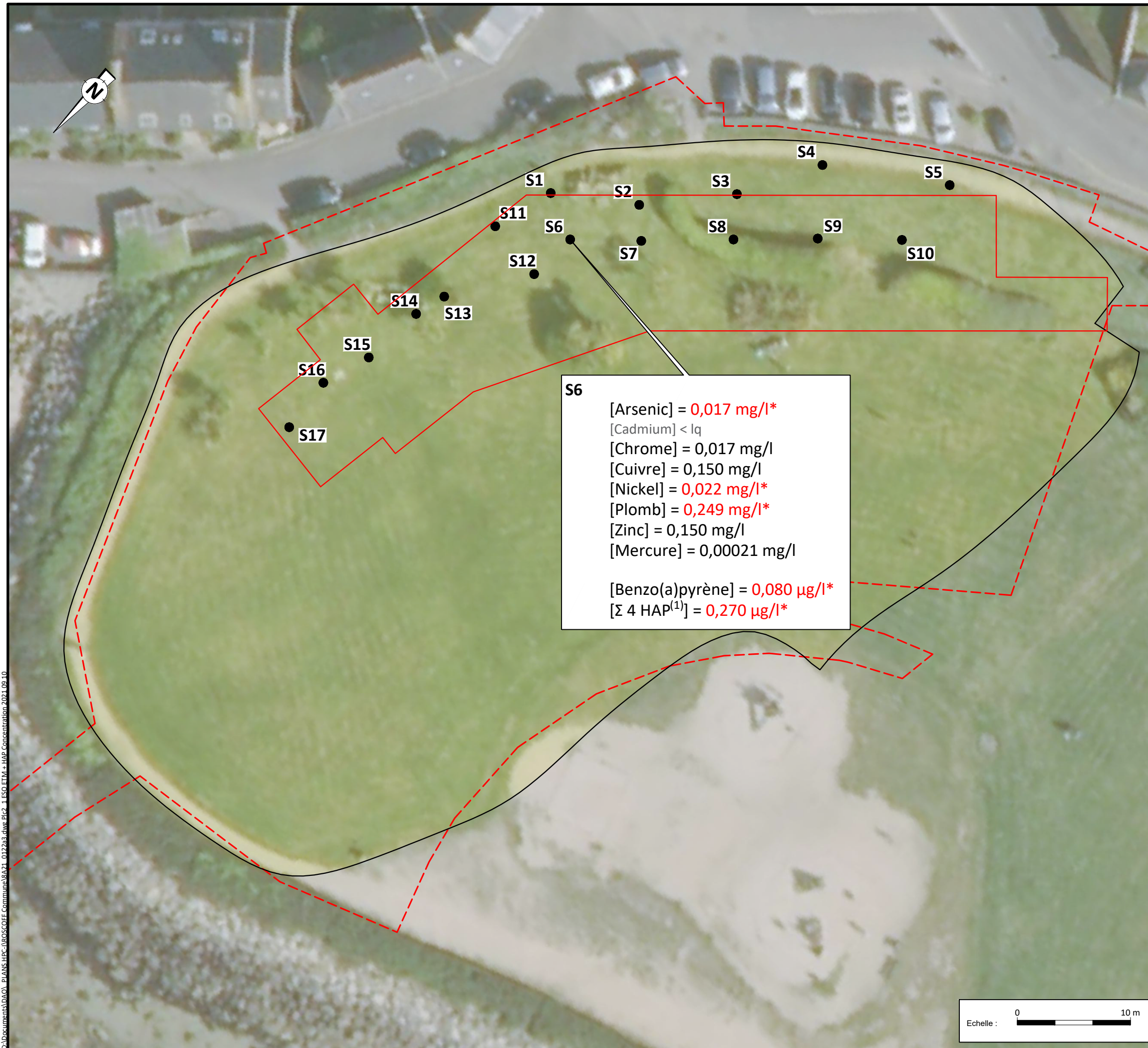
- Zone des travaux
- Emprise du futur bâtiment
- Limite du site

Projet : Projet Centre Nautique sis rue Jeanne d'Arc à ROSCOFF (29)	
Titre : Cartographie des résultats dans l'Air Ambiant (6 juillet 2021) (9 au 13 septembre 2021)	Projet n° : 8.21.0122
	Echelle :
	Fichier : 8A21_0122a3.dwg
	Dessinateur : YR
Client : Commune de Roscoff	Demandeur : MG 07/10/2021
	Responsable : GR

P:\Documents\DAO\PIAIS HPC-IBROSCOFF Communes\8A21_0122a3.dwg - P1c3 AA Avant et Pendant trav 2021_05-09-13

ANNEXE 2.4

**Cartographies des résultats dans l'eau fond de
fouille et eau souterraine**



Investigations :

- **Si (S1 à S17):** Sondages (pack ISD + Amiante) - SS4

■ Zone des travaux

▭ Emprise du futur bâtiment

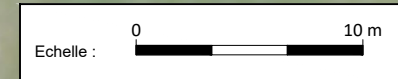
▭ Limite du site

[Plomb] = **0,249 mg/kg*** :
 Valeur supérieure à la limite de "potabilité" (indicative dans le cadre d'une IEM)

(1) : somme des 4 substances :
 benzo(b)fluoranthène,
 benzo(k)fluoranthène,
 benzo(ghi)pérylène,
 indéno(1,2,3-cd)pyrène

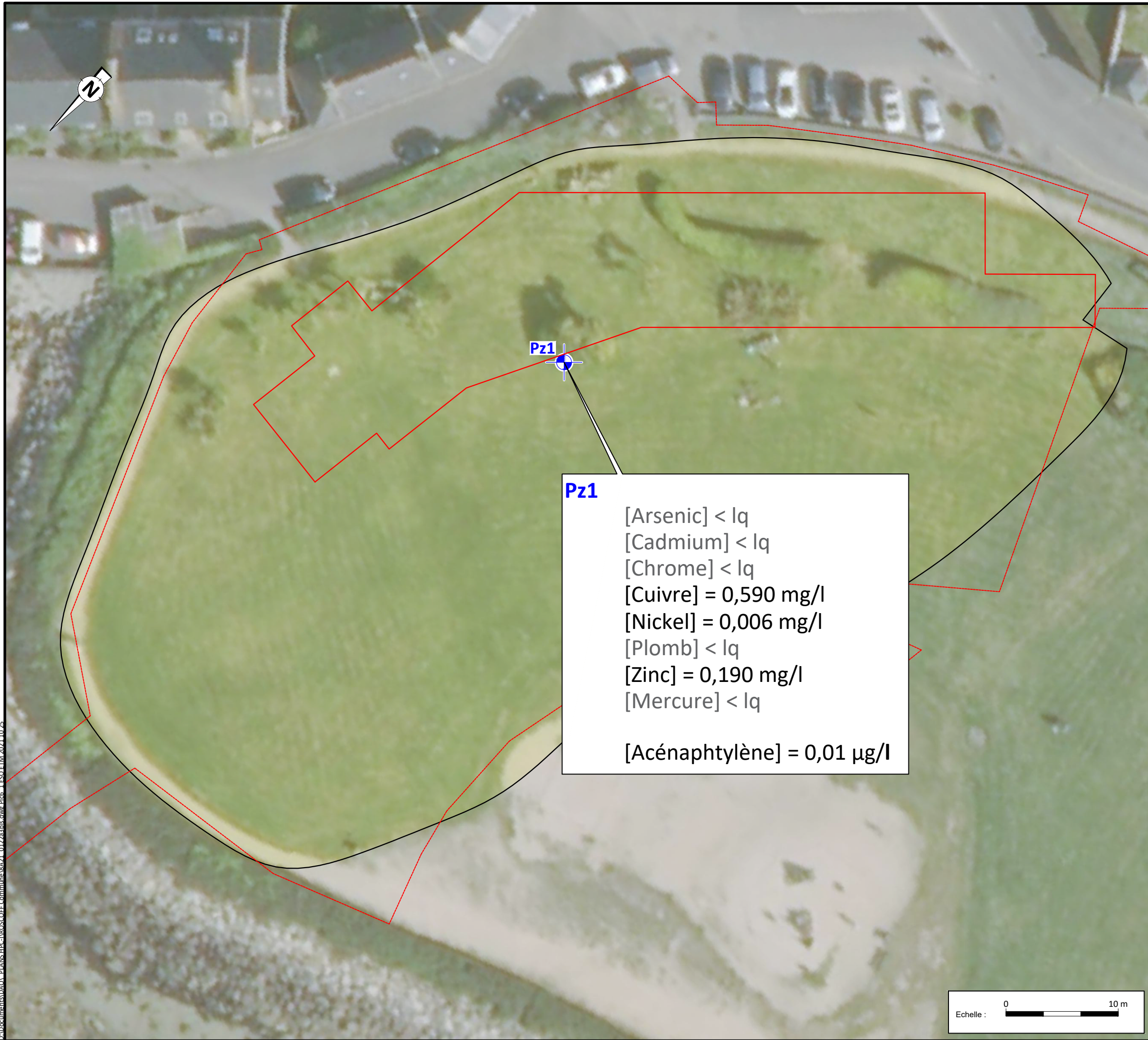
S6
 [Arsenic] = **0,017 mg/l***
 [Cadmium] < lq
 [Chrome] = 0,017 mg/l
 [Cuivre] = 0,150 mg/l
 [Nickel] = **0,022 mg/l***
 [Plomb] = **0,249 mg/l***
 [Zinc] = 0,150 mg/l
 [Mercure] = 0,00021 mg/l

 [Benzo(a)pyrène] = **0,080 µg/l***
 [Σ 4 HAP⁽¹⁾] = **0,270 µg/l***



P:\Documents\DAO\PIANS HPC-IBROSCOPE Communes\8A21_0122a3.dwg - Plc2_1.ESD.ETM - HAP Concentration 2021.09.10

Projet :		Projet Centre Nautique sis rue Jeanne d'Arc à ROSCOFF (29)	
Titre : Cartographie des résultats dans les eaux de fond de fouille - ETM et HAP - (10 septembre 2021)	Projet n° :	8.21.0122	
	Echelle :		
	Fichier :	8A21_0122a3.dwg	
	Dessinateur :	YT	
	Demandeur :	MG	06/10/2021
	Responsable :	GR	
Client :		Commune de Roscoff	
		 HPC INTERNATIONAL Hôtel de Recherche Centre de Perharidy 29680 ROSCOFF	



Investigations :

● **Pz1** : Piézomètre - HPC-I - oct 2021

■ Zone des travaux

▭ Emprise du futur bâtiment

▭ Limite du site

Pz1

[Arsenic] < lq
 [Cadmium] < lq
 [Chrome] < lq
 [Cuivre] = 0,590 mg/l
 [Nickel] = 0,006 mg/l
 [Plomb] < lq
 [Zinc] = 0,190 mg/l
 [Mercure] < lq

[Acénaphthylène] = 0,01 µg/l

Projet : **Projet Centre Nautique**
 sis rue Jeanne d'Arc à ROSCOFF (29)

Titre : Cartographie des résultats dans les eaux souterraines - ETM et HAP - (25 octobre 2021)	Projet n° :	8.21.0122
	Echelle :	
	Fichier :	8A21_0122a3bis.dwg
	Dessinateur :	YT
	Demandeur :	MG 18/11/2021
	Responsable :	GR

Client : **Commune de Roscoff**

P:\Documents\DAO\ - PLANS HPC- ROSCOFF Communes\8A21_0122a3bis.dwg - Plg6 - LESO ETM 2021 10 25

ANNEXE 3

ANALYSE DES RISQUES SANITAIRES RESIDUELS (ARR)

ANNEXE 3.1

Description du modèle utilisé

**Description du modèle utilisé pour
l'évaluation de l'exposition et
la quantification des risques sanitaires**

Le modèle utilisé pour les calculs est issu des modèles d'exposition suivants :

- HESP© version 2.1, dérivant lui-même du modèle néerlandais C-Soil développé par l'Institut de l'Environnement et de la Santé Publique Néerlandais (RIVM) pour le calcul des valeurs guides néerlandaises,
- RISC WORKBENCH© version 4.0 d'octobre 2001 développé par BP à partir du modèle du modèle américain RBCA (Risk-Based Corrective Action) développé par l'ASTM (American Society for Testing and Materials),
- Risk Assessment Guidance for Superfund - US EPA July 2004 - Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part E: Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment).

Ces modèles ont été convertis au format Microsoft Excel afin d'améliorer l'accessibilité à tous les paramètres et équations considérés (données spécifiques aux sites étudiés).

Le logiciel HESP© version 2.1., simple, est spécifique de l'évaluation de l'exposition des individus due aux substances présentes dans les sols pollués. Dans la catégorie des « screening models », il repose à la fois sur des principes physico-chimiques et des équations de régression basées sur des études en laboratoire.

Le logiciel RISC WORKBENCH© version 4.0, spécifique de l'évaluation de l'exposition des individus due aux substances présentes dans les sols pollués, permet d'estimer les risques cancérigènes et non-cancérigènes liés à différentes voies d'exposition (similaires à celles prises en compte dans HESP, à l'exception des voies de contact avec l'eau de consommation issue des canalisations qui ne sont pas prises en compte dans RISC WORKBENCH©).

RISC WORKBENCH© permet de prendre en compte diverses sources de pollution présentes au sein des sols et notamment une source « eaux souterraines » et de considérer des zones saturées ou non.

Les équations des modèles ont été utilisées comme suit :

- équations de **Johnson et Ettinger** pour la diffusion des polluants vers **l'air ambiant intérieur** à partir d'une **source sol** et/ou **eaux souterraines**,
- équations de **Risc WorkBench** pour la diffusion des polluants vers **l'air ambiant extérieur** à partir d'une **source eau souterraine**,
- équations de **l'US-EPA (2004)** pour le **contact cutané** à partir des sols et poussières,
- équations de **HESP** pour la diffusion des polluants vers **l'air ambiant extérieur** à partir d'une **source sol** et pour toutes les **autres voies d'exposition**.

Pour les besoins des études, certaines équations et paramètres du modèle peuvent être remplacés par des valeurs issues de mesures sur site ou d'expérimentations réelles s'adaptant mieux aux spécificités du site (paramètres et équations décrits dans les annexes 2 et 3).

Ceci a été réalisé conformément aux recommandations du groupement de travail « Sites pollués - Santé Publique » du Ministère chargé de l'Environnement de 1999 à 2003.

ANNEXE 3.2

Paramètres utilisés pour la modélisation des transferts et des expositions

REFERENCE	PARAMETRE	UNITE	ERP
selon le scénario (jours de vacances, loi des 35H)	nb de jours d'exposition par an - adulte	j/an	220
	nb de jours d'exposition par an - enfant	j/an	52
choix de la cible	cible adulte	0/1	1
	cible enfant	0/1	1
données utilisées par INERIS ou groupe de travail du MEDD	nombre d'années d'expo. enfant	enfant	6
	nombre d'années d'expo. adulte	adulte	42
choix des voies d'exposition	Inhalation de gaz	0/1	1
	inhalation de poussières	0/1	1
	inhalation de vapeur d'eau	0/1	0
	ingestion d'eau	0/1	0
	ingestion de légumes	0/1	0
	ingestion de poissons	0/1	0
	ingestion de viande	0/1	0
	ingestion de sol	0/1	1
	contact cutané sol	0/1	1
	contact cutané poussières	0/1	1
	contact cutané eau	0/1	0
DONNEES SITE			
selon le site	longueur de la zone polluée	L (m)	240
selon le scénario	fraction annuelle de l'été	été	0,5
selon le site	température moyenne annuelle	T (°C)	11
PARAMETRES SOL			
Selon le site	Type de sol (zone insaturée)		Sable limoneux
Selon le site	Type de sol (zone capillaire)		Sable limoneux
Selon le site	Température du sol	Ts (°C)	10
Selon le site	pH du sol	pH (-)	7
Selon le site	Conductivité hydraulique	Kp (m/j)	1
Selon le site	Perméabilité intrinsèque du sol	Kv (cm ²)	3,16E-08
Selon le site	Masse volumique du sol	MVs (kg/L)	1,63
Selon le site	Fraction de carbone organique	foc (-)	0,02
Selon le site	Epaisseur de la zone capillaire	Lzc (cm)	18,75
Selon le site	Porosité totale de la zone capillaire	θzc (-)	0,39
Johnson et Ettinger (1991)	Paramètre de Van Genuchten correspondant au point d'inflexion de la courbe représentant la porosité de l'eau en fonction de la pression au niveau de l'entrée d'air	a1 (cm ⁻¹)	0,0348
Johnson et Ettinger (1991)	Pression au niveau de l'entrée d'air (h=1/a1)	h (cm)	28,78

REFERENCE	PARAMETRE	UNITE	ERP
Johnson et Ettinger (1991)	Paramètre de Van Genuchten représentant l'allure de la courbe	N (-)	1,746
Johnson et Ettinger (1991)	Paramètre de van Genuchten $M=1-(1/N)$	M (-)	0,427
Selon le site	Teneur en air du sol de la zone capillaire	TA,zc (-)	0,087
Johnson et Ettinger (1991)	Teneur en eau résiduelle de la zone capillaire	TEr,zc (-)	0,049
Waitz et al. (1996) Van Genuchten (1980)	Teneur en eau du sol de la zone capillaire	TE,zc (-)	0,303
Selon le site	Porosité totale de la zone insaturée	θt (-)	0,39
Selon le site	Teneur en air du sol de la zone insaturée	TAs (-)	0,195
Selon le site	Teneur en eau du sol de la zone insaturée	TEs (-)	0,195
Selon le site	Profondeur de prélèvement des gaz du sol	Pp (m)	1,5
Selon le site	Profondeur de la nappe	Dg (m)	6
DONNEES ATMOSPHERIQUES			
Veerkamp, 1994 (HESP)	Particules en suspension air extérieur	PSext ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	70
Veerkamp, 1994 (HESP)	Particules en suspension air intérieur	PSint ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	52,5
Veerkamp, 1994 (HESP)	Taux de déposition de polluant	TDPe ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{j}$)	60
Veerkamp, 1994 (HESP)	Fraction de sol dans les poussières ext.	frsxt (-)	0,5
Veerkamp, 1994 (HESP)	Fraction de sol dans les poussières int.	frsint (-)	0,8
Veerkamp, 1994 (HESP)	Hauteur de la couche limite	Xa (m)	0,005
Modélisation J&E, HESP - source sol et VOLASOIL - source sol + eaux	Longueur de diffusion du polluant	Ld (m)	0,05
Modélisation RISC - source eaux	Epaisseur de sol entre la source et les fondations	Lcint	2
Modélisation RISC - source eaux	Epaisseur de sol entre la source et la surface extérieure	Lcext	2
Modélisation RISC - source eaux	Epaisseur de la zone capillaire	Lccap (cm)	18,75
Veerkamp, 1994 (HESP)	Hauteur de dispersion	H (m)	2
Veerkamp, 1994 (HESP)	Evaporation de l'eau du sol	Ev (m/j)	0,0001
Météo France	Hauteur de référence données météo	href (m)	10
Veerkamp, 1994 (HESP)	Constante de Karman	k (-)	0,4
Veerkamp, 1994 (HESP)	Rugosité de surface	sr (m)	0,4
Selon le site	Vitesse du vent à hauteur h	Vh (m/h)	22500
DONNEES HABITAT			
Modèles utilisés	Formule de Wolff (HESP)	Csource	J&E source infinie + RISC Workbench
Johnson et Ettinger (1991)	Fraction volumique de la phase air dans les fissures du béton	BVA (-)	0,195
Johnson et Ettinger (1991)	Fraction volumique de la phase liquide dans les fissures du béton	BVE (-)	0,195
HESP	Fraction volumique de la phase air dans le béton	BVA (-)	0,01
HESP	Fraction volumique de la phase liquide dans le béton	BVE (-)	0,01
Selon le site	Type de sous-sol	plein sol	ps
Johnson et Ettinger (1991)	Crack Ratio	Crack Ratio (-)	0,0038

REFERENCE	PARAMETRE	UNITE	ERP
Johnson et Ettinger (1991)	Flux volumique de gaz du sol pénétrant dans l'habitation	Qsoil (L/min)	def
Selon le projet d'aménagement	Epaisseur des fondations	eb (m)	0,1
Selon le projet d'aménagement	Epaisseur du béton plancher sous-sol	eb (m) sous-sol	0
Selon le projet d'aménagement	Epaisseur du béton surfaces extérieures	eb (m) ext	0,05
Johnson et Ettinger (1991)	Différence de pression entre le sol (ou sous-sol) et le premier niveau d'habitation	ΔP (g/cm.s ²)	40
Johnson et Ettinger (1991)	Différence de pression entre le sol et le sous-sol	$\Delta P_{\text{sous-sol}}$ (g/cm.s ²)	0
RISC WORKBENCH	Taux de ventilation	Ra (/h)	1,48
Johnson et Ettinger (1991)	Qbuilding	Qbuilding (m ³ /h)	379,18
Johnson et Ettinger (1991)	Qbuilding	Qbuilding (cm ³ /s)	105326,6667
Selon le site	Longueur habitation	Lh (m)	15
Selon le site	Largeur habitation	lh (m)	7
Selon le site	Hauteur habitation	Hh (m)	2,5
Johnson et Ettinger (1991)	Profondeur des fissures des fondations par rapport au sol	Zcrack (m)	0,15
Johnson et Ettinger (1991)	Hauteur de mélange (mixing height)	H (m)	2,44
DONNEES RECEPTEUR			
Adulte			
Tanguy, Zechnoun, Dor, mai-juin 2007	Poids adulte	Pa (kg)	70
Veerkamp, 1994 (HESP)	hauteur de respiration adulte	HRa (m)	1,5
ICRP 1994 (Commission Internationale de Protection Radiologique), CIBLEX 2003	volume respiratoire	VR,a (m3/j)	32,3
temps passés - moy journalière - adulte			
selon le scénario	heures à l'int,hiver,adulte	ti,a (h)	4
selon le scénario	heures à l'int,été,adulte	ti,a (h)	4
selon le scénario	heures à l'ext,hiver,adulte	te,a (h)	4
selon le scénario	heures à l'ext,été,adulte	te,a (h)	4
Enfant			
Tanguy, Zechnoun, Dor, mai-juin 2007	Poids enfant	Pe (kg)	14,6
Veerkamp, 1994 (HESP)	hauteur de respiration enfant	HRe (m)	1
ICRP 1994 (Commission Internationale de Protection Radiologique), CIBLEX 2003	volume respiratoire	VR,e (m3/j)	10,1
temps passés - moy journalière - enfant			
selon le scénario	heures à l'int,hiver,enfant	ti,e (h)	2
selon le scénario	heures à l'int,été,enfant	ti,e (h)	2
selon le scénario	heures à l'ext,hiver,enfant	te,e (h)	4
selon le scénario	heures à l'ext,été,enfant	te,e (h)	4

Paramètres physico-chimiques		Naphthalène		Benzo(a) pyrene		Plomb		Cuivre		Nickel		Zinc		Mercure		Arsenic		Chrome	
Température de référence	Tréf (°C)	25		20		20		25		25		25		20		20		20	
Masse molaire	M (g/mol)	128,2	I	252,3	I	207,2	I	63,55	I	58,69	RA	67,38	I	200,59		74,92		51,996	
Pression de vapeur	P(Tréf) mmHg	def		def		def		def		def		def		def		def		def	
	P(Tréf) Pa	1,05E+01	I	7,30E-07	I	def		def		def		def		9,00E-03		def		def	
Solubilité dans l'eau	S(Tréf) mg/L	31,8	I	0,003	I	def		def		def		def		69000		def		def	
Coef de partage octanol/eau	log kow	3,30	E	6,10	E	def		def		def		def		-0,30		def		def	
Coef de partage carbone organique/eau	Koc	1250	I	def		def		def		def		def		def		def		def	
	log Koc	3,10	C	6,00	I	def		def		def		def		def		def		def	
Coef de partage sol-eau	Kd(L/kg)	def		def		2400	E	35	E	65	RA	62	E	52		29		1800000	
Coefficient de diffusion dans l'air	Da (cm²/s)	5,40E-02	I	4,50E-02	I	def		def		def		def		3,70E-02		def		def	
	Da (m²/h)	1,94E-02	C	1,62E-02	C	def		def		def		def		1,33E-02		def		def	
Coefficient de diffusion dans l'eau	De (cm²/s)	7,20E-06	I	6,90E-06	I	def		def		def		def		6,30E-06		def		def	
	De (m²/h)	2,59E-06	C	2,48E-06	C	def		def		def		def		2,27E-06		def		def	
Constante de Henry à Tref	Ho ((mg/L)/(mg/L))	2,04E-02	R	4,63E-05	R							def		1,45E-08		def			
	Ho (Pa.m³/mol.K)	5,05E+01	C	1,15E-01	C	def		def		def		def		3,60E-05		def		def	
Biodisponibilité																			
par ingestion	de sols	1		1		1		1		1		1		1		1		1	
par ingestion	aliments (légumes, poissons, viande)	1		1		1		1		1		1		1		1		1	
par ingestion	d'eau	1		1		1		1		1		1		1		1		1	
par contact cutané	sols et eau	1		1		1		1		1		1		1		1		1	
par inhalation	gaz, poussières et vapeur d'eau	1		1		1		1		1		1		1		1		1	

I : INERIS
 R : RISC WORKBENCH
 H : HESP
 RA : RAIS
 E : EPA
 éq : équivalent
 HS : HSDB
 PW : Pal, D., Weber, J.B. and Overcash, M.R. (1980)
 def : valeur modélisée par défaut

Paramètres physico-chimiques		Hydrocarbures aliphatiques C ₇ -C ₆		Hydrocarbures aliphatiques C ₆ -C ₈		Hydrocarbures aliphatiques C ₈ -C ₁₀		Hydrocarbures aliphatiques C ₁₀ -C ₁₂		Hydrocarbures aliphatiques C ₁₂ -C ₁₆		Hydrocarbures aliphatiques C ₁₆ -C ₁₈		Hydrocarbures aromatiques C ₇ -C ₇		Hydrocarbures aromatiques C ₇ -C ₈		Hydrocarbures aromatiques C ₈ -C ₁₀	
Température de référence	Tréf (°C)	25		25		25		25		25		25		25		25		25	
Masse molaire	M (g/mol)	81	R	100	R	130	R	160	R	200	R	270	R	78	R	92	R	120	R
Pression de vapeur	P(Tréf) mmHg	270	R	48	R	4,8	R	0,49	R	0,036	R	0,0058	R	99	R	29	R	4,8	R
	P(Tréf) Pa	3,60E+04	C	6,40E+03	C	6,40E+02	C	6,53E+01	C	4,80E+00	C	7,73E-01	C	1,32E+04	C	3,87E+03	C	6,40E+02	C
Solubilité dans l'eau	S(Tréf) mg/L	36	R	5,4	R	0,43	R	0,034	R	0,00076	R	0,0000013	R	1800	R	520	R	65	R
Coef de partage octanol/eau	log kow	3,30	R	4,00	R	4,80	R	5,60	R	6,80	R	8,90	R	2,10	R	2,50	R	3,10	R
Coef de partage carbone organique/eau	Koc	790	R	4000	R	32000	R	250000	R	5000000	R	1000000000	R	79	R	250	R	1600	R
	log Koc	2,90	C	3,60	C	4,51	C	5,40	C	6,70	C	9,00	C	1,90	C	2,40	C	3,20	C
Coef de partage sol-eau	Kd(L/kg)	def		def		def		def		def		def		def		def		def	
Coefficient de diffusion dans l'air	Da (cm ² /s)	1,00E-01	R	1,00E-01	R	1,00E-01	R	1,00E-01	R	1,00E-01	R	1,00E-01	R	1,00E-01	R	1,00E-01	R	1,00E-01	R
	Da (m ² /h)	3,60E-02	C	3,60E-02	C	3,60E-02	C	3,60E-02	C	3,60E-02	C	3,60E-02	C	3,60E-02	C	3,60E-02	C	3,60E-02	C
Coefficient de diffusion dans l'eau	De (cm ² /s)	1,00E-05	R	1,00E-05	R	1,00E-05	R	1,00E-05	R	1,00E-05	R	1,00E-05	R	1,00E-05	R	1,00E-05	R	1,00E-05	R
	De (m ² /h)	3,60E-06	C	3,60E-06	C	3,60E-06	C	3,60E-06	C	3,60E-06	C	3,60E-06	C	3,60E-06	C	3,60E-06	C	3,60E-06	C
Constante de Henry à Tréf	Ho ((mg/L)/(mg/L))	3,40E+01	R	5,10E+01	R	8,20E+01	R	1,30E+02	R	5,40E+02	R	6,40E+03	R	2,30E-01	R	2,70E-01	R	4,90E-01	R
	Ho (Pa.m ³ /mol.K)	8,42E+04	C	1,26E+05	C	2,03E+05	C	3,22E+05	C	1,34E+06	C	1,58E+07	C	5,69E+02	C	6,68E+02	C	1,21E+03	C
Biodisponibilité																			
par ingestion	de sols	1		1		1		1		1		1		1		1		1	
par ingestion	aliments (légumes, poissons, viande)	1		1		1		1		1		1		1		1		1	
par ingestion	d'eau	1		1		1		1		1		1		1		1		1	
par contact cutané	sols et eau	1		1		1		1		1		1		1		1		1	
par inhalation	gaz, poussières et vapeur d'eau	1		1		1		1		1		1		1		1		1	

I : INERIS
R : RISC WORKBENCH
H : HESP
RA : RAIS
def : valeur modélisée par défaut

E : EPA
éq : équivalent
HS : HSDB
PW : Pal, D., Weber, J.B. and Overcast

Paramètres physico-chimiques		Hydrocarbures aromatiques C ₁₀ -C ₁₂		Hydrocarbures aromatiques C ₁₂ -C ₁₆		Hydrocarbures aromatiques C ₁₆ -C ₂₁		Hydrocarbures aromatiques C ₂₁ -C ₂₅		Benzène		Toluène		Xylènes		Ethylbenzène		Trichloromethane		Tétrachloro-éthylène	
Température de référence	Tréf (°C)	25		25		25		25		25		25		25		25		25		25	
Masse molaire	M (g/mol)	130	R	150	R	190	R	240	R	78,11	I	92,14	I	106,16	I	106,16	I	119,38	I	165,8	I
Pression de vapeur	P(Tréf) mmHg	0,48	R	0,036	R	0,0058	R	0,0000033	R	def		def		def		def		def		def	
	P(Tréf) Pa	6,40E+01	C	4,80E+00	C	7,73E-01	C	4,40E-04	C	1,29E+04	I	3,77E+03	I	1,10E+03	I	1,27E+03	I	2,63E+04	I	2,46E+03	I
Solubilité dans l'eau	S(Tréf) mg/L	25	R	5,8	R	0,51	R	0,0066	R	1830	I	515	I	177	I	175	I	8200	I	150	I
Coef de partage octanol/eau	log kow	3,50	R	3,90	R	4,70	R	6,10	R	2,13	E	2,73	E	3,20	E	3,15	E	1,97	E	3,40	E
Coef de partage carbone organique/eau	Koc	2500	R	5000	R	16000	R	130000	R	134	I	100	I	234	I	242	I	60	I	247	I
	log Koc	3,40	C	3,70	C	4,20	C	5,11	C	2,13	C	2,00	C	2,37	C	2,38	C	1,78	C	2,39	C
Coef de partage sol-eau	Kd(L/kg)	def		def		def		def		def		def		def		def		def		def	
Coefficient de diffusion dans l'air	Da (cm ² /s)	1,00E-01	R	1,00E-01	R	1,00E-01	R	1,00E-01	R	8,80E-02	I	8,70E-02	I	7,20E-02	I	7,50E-02	I	1,04E-01	I	7,20E-02	I
	Da (m ² /h)	3,60E-02	C	3,60E-02	C	3,60E-02	C	3,60E-02	C	3,17E-02	C	3,13E-02	C	2,59E-02	C	2,70E-02	C	3,74E-02	C	2,59E-02	C
Coefficient de diffusion dans l'eau	De (cm ² /s)	1,00E-05	R	1,00E-05	R	1,00E-05	R	1,00E-05	R	9,80E-06	I	8,60E-06	I	8,44E-06	I	7,80E-06	I	1,00E-05	I	8,20E-06	I
	De (m ² /h)	3,60E-06	C	3,60E-06	C	3,60E-06	C	3,60E-06	C	3,53E-06	C	3,10E-06	C	3,04E-06	C	2,81E-06	C	3,60E-06	C	2,95E-06	C
Constante de Henry à Tref	Ho ((mg/L)/(mg/L))	1,40E-01	R	5,40E-02	R	1,30E-02	R	6,80E-04	R	2,28E-01	R	2,72E-01	R	2,90E-01	R	3,23E-01	R	1,50E-01	R	7,54E-01	R
	Ho (Pa.m ³ /mol.K)	3,47E+02	C	1,34E+02	C	3,22E+01	C	1,68E+00	C	5,64E+02	C	6,73E+02	C	7,18E+02	C	8,00E+02	C	3,71E+02	C	1,87E+03	C
Biodisponibilité																					
par ingestion	de sols	1		1		1		1		1		1		1		1		1		1	
par ingestion	aliments (légumes, poissons, viande)	1		1		1		1		1		1		1		1		1		1	
par ingestion	d'eau	1		1		1		1		1		1		1		1		1		1	
par contact cutané	sols et eau	1		1		1		1		1		1		1		1		1		1	
par inhalation	gaz, poussières et vapeur d'eau	1		1		1		1		1		1		1		1		1		1	

I : INERIS
R : RISC WORKBENCH
H : HESP
RA : RAIS
E : EPA
éq : équivalent
HS : HSDb
PW : Pal, D., Weber, J.B. and Overcast
def : valeur modélisée par défaut

ANNEXE 3.3

Équations utilisées pour la modélisation des expositions et la quantification des risques sanitaires

**Equations utilisées pour la modélisation des
expositions et la quantification
des risques sanitaires**

Dans le cadre de l'évaluation des expositions, ont été utilisées les équations suivantes :

- équations de **Johnson et Ettinger** pour la diffusion des polluants vers **l'air ambiant intérieur** à partir d'une **source sol** et/ou **eaux souterraines (source infinie)**,
- équations de l'US-EPA (2004) pour le **contact cutané** à partir des **sols** et **poussières**,
- équations de **HESP** pour la diffusion des polluants vers **l'air ambiant extérieur** à partir d'une **source sol** et toutes les **autres voies d'exposition**.

1. - Calcul des doses journalières d'exposition avec HESP

1.1. - Inhalation de polluant gazeux dans l'air ambiant extérieur (équations de HESP à partir d'une source sol - source infinie)

$$DJE_{inh,g} = Caa_e * T_{ext} / 24 * VR / P * f_{a,inh} * Ea$$

$DJE_{inh,g}$: dose journalière d'exposition par inhalation de polluant sous forme gazeuse (mg/kg)

Caa_e : concentration de polluant gazeux dans l'air ambiant extérieur (mg/m³)

T_{ext} : temps passé à l'extérieur (-)

VR : volume respiratoire (m³/j)

P : poids corporel (kg)

$f_{a,inh}$: facteur d'absorption par la voie d'inhalation (-)

Ea : fréquence d'exposition annuelle (nombre de jours par an d'exposition sur le site divisé par le nombre de jours dans une année) - (j/j)

1.1.1. - Capacité de fugacité

$$Z_a = 1 / (R * T_s)$$

- Z_a : capacité de fugacité de l'air (mole/m³.Pa)
R : constante des gaz parfaits (8,3143 Pa.m³/mole.K)
T_s : température du sol (°K)

$$Z_e = 1 / H_s$$

- Z_e : capacité de fugacité de l'eau (mole/m³.Pa)
H_s : constante de Henry à la température du sol (m³.Pa/mole)

$$\ln H_s = \ln H(T_{ref}) + 0,024 (T_s - T_{ref})$$

$$H(T_{ref}) = P(T_{ref}) * M / S(T_{ref})$$

- T_{ref} : température de référence (°C)
T_s : température du sol
H(T_{ref}) : constante de Henry à la température de référence (m³.Pa/mole)
S(T_{ref}) : solubilité dans l'eau de la substance pure à la température de référence (g/m³)
P(T_{ref}) : pression de vapeur de la substance pure à la température de référence (Pa)
M : masse molaire du composé (g/mole)

$$Z_s = K_d * M V_s * Z_w / F V_s$$

- Z_s : capacité de fugacité du sol (mole/m³.Pa)
K_d : coefficient de partition sol - eau (dm³/kg)=[mg/kg de sol]/[mg/dm³ d'eau])
M V_s : masse volumique du sol sec (g/cm³)
F V_s : fraction volumique de la phase solide du sol (-)

$$K_d = K_{oc} * f_{oc}$$

$$K_{oc} = 0,411 * K_{ow}$$

- K_d : coefficient de partition sol - eau (dm³/kg)
K_{oc} : coefficient de partage carbone organique - eau (dm³/kg)
f_{oc} : fraction de carbone organique (-)
K_{ow} : coefficient de partage octanol - eau (dm³/kg)

1.1.2. - Fractions massiques

$$Pa = (Za * TAs) / (Za * TAs + Ze * TEs + Zs * FVs)$$

$$Pe = (Ze * TEs) / (Za * TAs + Ze * TEs + Zs * FVs)$$

$$Ps = (Zs * FVs) / (Za * TAs + Ze * TEs + Zs * FVs)$$

- Pa : fraction massique dans l'air du sol (-)
Pe : fraction massique dans l'eau du sol (-)
Ps : fraction massique dans la partie solide du sol (-)
TAs : teneur en air du sol (-)
TEs : teneur en eau du sol (-)
FVs : fraction volumique de la phase solide du sol (-)

1.1.3. - Coefficients de diffusion

$$Das = TAs^{10/3} * Da / (1 - FVs)^2$$

$$Da = 0,36 * (76 / M)^{1/2}$$

- Das : coefficient de diffusion dans l'air du sol (m²/h)
Da : coefficient de diffusion dans l'air (m²/h)
M : masse molaire de la substance (g/mol)
TAs : teneur en air du sol (-)
TEs : teneur en eau du sol (-)

$$Des = TEs^{10/3} * De / (1 - FVs)^2$$

$$De = 3,6 * 10^{-6} * (76 / M)^{1/2}$$

- Des : coefficient de diffusion dans l'eau du sol (m²/h)
De : coefficient de diffusion dans l'eau (m²/h)
TEs : teneur en eau du sol (-)

$$Deff = (Pa * Das / TAs) + (Pe * Des / TEs)$$

- Deff : Coefficient de diffusion effective dans le sol (m²/h)
Pa : fraction massique dans l'air du sol (-)
Pe : fraction massique dans l'eau du sol (-)
TAs : teneur en air du sol (-)
TEs : teneur en eau du sol (-)
Das : coefficient de diffusion dans l'air du sol (m²/h)
Des : coefficient de diffusion dans l'eau du sol (m²/h)

1.1.4. - Flux de polluants émis

$$J_{cl} = Da * Cas / Xa$$

- J_{cl} : flux à travers la couche limite sol/air extérieur (g/[m².h])
 Xa : épaisseur de la couche limite (m)
 Cas : concentration dans l'air du sol (g/m³)
 Da : coefficient de diffusion dans l'air (m²/h)

$$Cas = Cs * MVs * Pa / TAs$$

- Cas : concentration dans l'air du sol (g/m³)
 Cs : concentration en polluant dans le sol (mg/kg)
 Pa : fraction massique dans l'air du sol (-)
 TAs : teneur en air du sol (-)
 MVs : masse volumique du sol (g/cm³)

$$J_{ev} = Ces * Ev / 24$$

- J_{ev} : flux lié à l'évaporation de l'eau du sol (g/[m².h])
 Ev : flux d'eau évaporée par jour (m/h)
 Ces : concentration dans l'eau du sol (g/m³) (valeur plafonnée à la solubilité du produit)

$$Ces = Cs * MVs * Pe / TEs$$

- Ces : concentration dans l'eau du sol (g/m³) (**valeur plafonnée à la solubilité du produit**)
 Cs : concentration en polluant dans le sol (mg/kg)
 MVs : masse volumique du sol (g/cm³)
 Pe : fraction massique dans l'eau du sol (-)
 TEs : teneur en eau du sol (-)

$$J_{diff} = (D_{eff} / Ld) * (Cas * TAs / Pa)$$

- J_{diff} : flux de diffusion dans l'eau du sol (g/[m².h])
 Ld : longueur de diffusion dans le sol (m)

1.1.5. - Concentrations en polluants dans l'air ambiant extérieur

$$C_{aae} = J_{aae} / V_d$$

Si $J_{ev} + J_{diff} < J_{cl}$ alors $J_{aae} = J_{ev} + J_{diff}$
sinon $J_{aae} = J_{cl}$

C_{aae} : concentration dans l'air ambiant extérieur (g/m^3)
 J_{aae} : Flux de polluant vers l'air ambiant extérieur ($g/[m^2.h]$)
 V_d : vitesse de dilution (m/h)

$$V_d = V_{resp} * S_z / L$$

V_{resp} : vitesse moyenne du vent à hauteur de respiration (m/h)
 S_z : coefficient de dispersion de Pasquill (m)
 L : longueur de la zone contaminée (m)

$$V_{resp} = (V_y + V_f) / 2$$

V_f : vitesse de friction (m/h)
 V_y : vitesse du vent à la hauteur Y (m/h)

$$V_y = \ln(Y / s_r) * V_f / k$$

Y : hauteur de respiration (m)
 s_r : rugosité de surface (m)
 k : constante de Karman (-)

$$V_f = k * V_h / \ln(h_{ref} / s_r)$$

V_h : vitesse du vent à la hauteur h
 h_{ref} : hauteur de référence pour les données météo (m)

$$S_z = C_o * 0,2 * L^{0,76}$$

$$C_o = (10 * s_r)^{(0,53 * L^{-0,22})}$$

C_o : facteur de correction de longueur de rugosité (-)

1.2. - Contact cutané avec les sols et poussières (USEPA 2004)

$$DJE_{cut, sp} = DA_{exp} * EXP * S_{exp} * Ea / P$$

$DJE_{cut, sp}$: dose journalière d'exposition par absorption cutanée de sol et poussières (mg/kg/j)

DA_{exp} : dose absorbée par exposition (mg/cm²)

EXP : fréquence d'exposition (-/j)

S_{exp} : surface de peau en contact par exposition (cm²)

P : poids corporel (kg)

Ea : fréquence d'exposition annuelle (nombre de jours par an d'exposition sur le site divisé par le nombre de jours dans une année) - (j/j)

$$DA_{exp} = C_s * 10^{-6} * AF * ABS_c$$

DA_{exp} : dose absorbée par exposition (mg/cm²)

C_s : concentration en polluant dans le sol (mg/kg)

AF : facteur d'adhérence du sol sur la peau (mg/cm²)

ABS_c : fraction d'absorption cutanée (-)

2. - Equations de Johnson et Ettinger (diffusion de polluants à partir d'une source sol et / ou eaux souterraines - hypothèse de source infinie)

Cas d'une contamination des sols :

$$C_{source} = \frac{H_{TS} \cdot C_R \cdot \rho_b}{\theta_w + K_d \cdot \rho_b + H_{TS} \cdot \theta_a}$$

C_{source} : concentration dans l'air du sol (mg/m³)

H_{TS} : constante de Henry adimensionnée de la substance à la température du sol

C_R : concentration par unité massique de sol (g/g),

ρ_b : masse volumique du sol (g/cm³),

θ_w : teneur en eau du sol (sans dimension),

θ_a : teneur en air du sol (sans dimension),

K_d : coefficient de répartition sol-eau (cm³/g) : $K_d = K_{oc} \cdot f_{oc}$

K_{oc} : coefficient de répartition sol/carbone organique (cm³/g)

f_{oc} : la fraction de carbone organique du sol

Cas d'une contamination des eaux souterraines :

$$C_{source} = H_{TS} \cdot C_w$$

H_{TS} : constante de Henry adimensionnée de la substance à la température du sol

C_w : concentration dans les eaux souterraines (g/cm³).

$$D_i^{eff} = D_a \cdot \left(\frac{\theta_{a,i}^{3.33}}{n_i^2} \right) + \left(\frac{D_w}{H_{TS}} \right) \cdot \left(\frac{\theta_{w,i}^{3.33}}{n_i^2} \right)$$

D_i^{eff} : Coefficient de diffusion effectif dans la couche i (cm²/s)

D_a : les coefficients de diffusion dans l'air pur de la substance (cm²/s)

$$D_a = 0.036 \cdot \sqrt{\frac{76}{M}}$$

D_w : les coefficients de diffusion dans l'air et dans l'eau pure de la substance (cm²/s)

$$D_w = 3,6 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{\frac{76}{M}}$$

$\theta_{a,i}$: teneur en air du sol pour la couche i (sans dimension)

$\theta_{w,i}$: teneur en eau du sol pour la couche i (sans dimension)

H_{TS} : constante de Henry adimensionnée à la température du sol

n_i : porosité totale de la couche de sol i (sans dimension)

M : masse molaire du composé (g/mol)

$$D_T^{eff} = \frac{L_T}{\sum_{i=0}^n \frac{L_i}{D_i^{eff}}}$$

D_T^{eff} : coefficient de diffusion effectif total (cm²/s)

L_T : distance entre la contamination et les fondations (n'incluant pas l'épaisseur des fondations) (cm)

L_i : l'épaisseur de la couche de sol i (cm)

D_i^{eff} : le coefficient de diffusion de la couche de sol i (cm²/s)

$$Q_{soil} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \Delta P \cdot k_v \cdot X_{crack}}{\mu \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot Z_{crack}}{r_{crack}} \right)}$$

- Q_{soil} : flux volumique entrant dans le bâtiment (cm³/s)
 ΔP : différence de pression entre le sol et l'air intérieur (Pa)
 k_v : perméabilité intrinsèque du sol (cm²)
 X_{crack} : périmètre des fondations (cm)
 η : viscosité de l'air (g/cm.s)
 Z_{crack} : profondeur des fondations (cm)
 r_{crack} : rayon hydraulique des fissures rapporté au pourcentage surfacique de fissures (cm)

$$r_{crack} = \eta \cdot \frac{A_B}{X_{crack}}$$

- η : crack ratio, fraction surfacique de fissures (par rapport à la surface totale des fondations)
 A_B : surface des fondations (cm²)
 X_{crack} : périmètre des fondations (cm)

$$Q_{Building} = \frac{L_B \cdot W_B \cdot H_B \cdot ER}{3,6}$$

- $Q_{Building}$: taux de ventilation du bâtiment (cm³/s)
 L_B : longueur (cm)
 W_B : largeur (cm)
 H_B : hauteur de mélange (cm)
 ER : taux d'échange d'air (h⁻¹)

Pour une source infinie :

$$\alpha = \frac{\left[\left(\frac{D_T^{eff} \cdot A_B}{Q_{building} \cdot L_T} \right) \cdot \exp\left(\frac{Q_{soil} \cdot L_{crack}}{D^{crack} \cdot A_{crack}} \right) \right]}{\left[\exp\left(\frac{Q_{soil} \cdot L_{crack}}{D^{crack} \cdot A_{crack}} \right) + \left(\frac{D_T^{eff} \cdot A_B}{Q_{building} \cdot L_T} \right) + \left(\frac{D_T^{eff} \cdot A_B}{Q_{soil} \cdot L_T} \right) \cdot \left[\exp\left(\frac{Q_{soil} \cdot L_{crack}}{D^{crack} \cdot A_{crack}} \right) - 1 \right] \right]}$$

- D_t^{eff} : coefficient de diffusion effectif total (cm²/s)
 A_B : surface des fondations (cm²)
 $Q_{building}$: taux de ventilation du bâtiment (cm³/s)
 L_T : distance entre la source de contamination et les fondations (cm)
 Q_{soil} : flux volumique de polluant entrant dans le bâtiment (cm³/s)
 L_{crack} : épaisseur des fondations (cm)
 A_{crack} : surface des fissures (cm²)
 D^{crack} : coefficient de diffusion dans les fissures (cm²/s) supposé égal au coefficient de diffusion de la couche de sol en contact avec les fondations en considérant que les fissures sont comblées avec de la terre

$$C_{\text{building}} = \alpha \cdot C_{\text{source}}$$

C_{building} : concentration dans l'air intérieur (mg/m³)

α : coefficient d'atténuation

C_{source} : concentration dans l'air du sol (mg/m³)

3. - Quantification des risques basés sur les expositions

3.1. - Risque non cancérigène systémique avec seuil

$$QD = \left(\frac{DJE_{\text{mg/kg/j}}}{DJT} + \frac{DJE_{\text{mg/m}^3}}{CT} \right)$$

QD : Quotient de Danger (-)

DJE : dose journalière d'exposition (mg/kg/j ou mg/m³)

DJT : dose journalière tolérable (mg/kg/j)

CT : concentration tolérable (mg/m³) pour un volume respiratoire donné

3.2. - Risque cancérigène sans seuil

$$ERI = \left(DJE_{\text{mg/kg/j}} \cdot ERU + DJE_{\text{mg/m}^3} \cdot ERUI \right) \cdot \frac{E}{T_{\text{vie}}}$$

ERI : excès de risque individuel (-)

DJE : dose journalière d'exposition (mg/kg/j ou mg/m³)

ERU : excès de risque unitaire (mg/kg/j)⁻¹

ERUI : excès de risque unitaire par inhalation (mg/m³)⁻¹ pour un volume respiratoire donné

E : nombre d'années d'exposition (années)

T_{vie} : durée de la vie (70 ans)

ANNEXE 3.4

***Doses journalières d'exposition et concentrations
d'exposition calculées***

:/ Dje0-8210122a0.xls

DOSES JOURNALIERES D'EXPOSITION									
SCENARIO ERP	Inhalation				Ingestion	absorption cutanée			Apport total adulte
	forme gazeuse		poussière		sol	par le sol	par la poussière	sol+poussière	
ADULTE	DJEinh (mg/kg/j)	CEinh (mg/m3)	DJEpous (mg/kg/j)	CEpous (mg/m3)	DJEing-sol (mg/kg/j)	DJECut-sol (mg/kg/j)	ECut-pous (mg/kg/j)	DJECut-sp (mg/kg/j)	Total adulte
Benzène	3,81E-06	8,20E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,81E-06
Toluène	6,93E-07	1,49E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,93E-07
Xylènes totaux	3,51E-05	7,55E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,51E-05
Ethylbenzène	1,64E-07	3,53E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,64E-07
Hydrocarbures aliphatiques C5-C6	5,27E-07	1,13E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,27E-07
Hydrocarbures aliphatiques C>6-C8	5,27E-07	1,13E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,27E-07
Hydrocarbures aliphatiques C>8-C10	5,90E-06	1,27E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,90E-06
Hydrocarbures aliphatiques C>10-C12	2,22E-05	4,78E-05	4,34E-09	9,34E-09	6,98E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,29E-05
Hydrocarbures aliphatiques C>12-C16	2,54E-07	5,47E-07	4,34E-09	9,34E-09	6,98E-07	2,23E-07	1,35E-09	8,85E-08	1,05E-06
Hydrocarbures aliphatiques C>16-C35	1,55E-04	3,34E-04	1,07E-07	2,29E-07	1,71E-05	5,46E-06	3,31E-08	2,17E-06	1,75E-04
Hydrocarbures aromatiques C>5-C7	5,27E-07	1,13E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,27E-07
Hydrocarbures aromatiques C>7-C8	5,27E-07	1,13E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,27E-07
Hydrocarbures aromatiques C>8-C10	5,90E-06	1,27E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,90E-06
Hydrocarbures aromatiques C>10-C12	2,22E-05	4,78E-05	4,34E-09	9,34E-09	6,98E-07	2,89E-07	1,76E-09	1,15E-07	2,30E-05
Hydrocarbures aromatiques C>12-C16	2,62E-07	5,64E-07	4,34E-09	9,34E-09	6,98E-07	2,23E-07	1,35E-09	8,85E-08	1,05E-06
Hydrocarbures aromatiques C>16-C21	6,06E-06	1,30E-05	2,15E-08	4,62E-08	3,46E-06	1,10E-06	6,68E-09	4,38E-07	9,97E-06
Hydrocarbures aromatiques C>21-C35	8,96E-08	1,93E-07	8,51E-08	1,83E-07	1,37E-05	4,36E-06	2,64E-08	1,73E-06	1,56E-05
Naphtalène	7,99E-08	1,72E-07	3,15E-11	6,77E-11	5,06E-09	2,10E-09	1,27E-11	8,33E-10	8,59E-08
Benzo(a)pyrène	4,16E-11	8,95E-11	1,39E-09	2,99E-09	2,23E-07	9,25E-08	5,61E-10	3,68E-08	2,62E-07
Arsenic	0,00E+00	0,00E+00	9,32E-08	2,01E-07	4,65E-06	1,43E-06	8,69E-09	5,70E-07	5,31E-06
Plomb	0,00E+00	0,00E+00	9,01E-08	1,94E-07	1,45E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,46E-05
Chrome III	0,00E+00	0,00E+00	6,07E-08	1,31E-07	9,77E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	9,83E-06
Cuivre	0,00E+00	0,00E+00	6,91E-08	1,49E-07	1,11E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,12E-05
Nickel	0,00E+00	0,00E+00	3,79E-08	8,16E-08	6,10E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,13E-06
Mercure	3,31E-11	7,11E-11	1,32E-10	2,84E-10	2,12E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,14E-08
Zinc	0,00E+00	0,00E+00	2,08E-07	4,47E-07	3,34E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,37E-05
Trichlorométhane	3,25E-08	6,99E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,25E-08
Tétrachloroéthylène	2,76E-08	5,94E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,76E-08

DOSES JOURNALIERES D'EXPOSITION									
SCENARIO ERP	Inhalation				Ingestion	absorption cutanée			Apport total enfant
	forme gazeuse		poussière		sol	par le sol	par la poussière	sol+poussière	
ENFANT	DJEinh (mg/kg/j)	CEinh (mg/m3)	DJEpouss (mg/kg/j)	CEpouss (mg/m3)	DJEing-sol (mg/kg/j)	DJECut-sol (mg/kg/j)	DJECut-pouss (mg/kg/j)	DJECut-sp (mg/kg/j)	Total enfant
Benzène	1,01E-06	1,45E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,01E-06
Toluène	1,38E-07	2,00E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,38E-07
Xylènes totaux	9,26E-06	1,34E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	9,26E-06
Ethylbenzène	3,23E-08	4,67E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,23E-08
Hydrocarbures aliphatiques C5-C6	1,07E-07	1,54E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,07E-07
Hydrocarbures aliphatiques C>6-C8	1,07E-07	1,54E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,07E-07
Hydrocarbures aliphatiques C>8-C10	1,19E-06	1,72E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,19E-06
Hydrocarbures aliphatiques C>10-C12	4,49E-06	6,49E-06	1,11E-09	1,61E-09	1,43E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,92E-06
Hydrocarbures aliphatiques C>12-C16	5,14E-08	7,43E-08	1,11E-09	1,61E-09	1,43E-06	6,65E-08	5,28E-10	6,64E-08	1,55E-06
Hydrocarbures aliphatiques C>16-C35	3,14E-05	4,54E-05	2,73E-08	3,94E-08	3,51E-05	1,63E-06	1,30E-08	1,63E-06	6,81E-05
Hydrocarbures aromatiques C>5-C7	1,07E-07	1,54E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,07E-07
Hydrocarbures aromatiques C>7-C8	1,07E-07	1,54E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,07E-07
Hydrocarbures aromatiques C>8-C10	1,19E-06	1,72E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,19E-06
Hydrocarbures aromatiques C>10-C12	4,50E-06	6,50E-06	1,11E-09	1,61E-09	1,43E-06	8,65E-08	6,86E-10	8,63E-08	6,02E-06
Hydrocarbures aromatiques C>12-C16	5,50E-08	7,96E-08	1,11E-09	1,61E-09	1,43E-06	6,65E-08	5,28E-10	6,64E-08	1,55E-06
Hydrocarbures aromatiques C>16-C21	1,23E-06	1,78E-06	5,50E-09	7,95E-09	7,08E-06	3,29E-07	2,61E-09	3,28E-07	8,64E-06
Hydrocarbures aromatiques C>21-C35	1,93E-08	2,79E-08	2,18E-08	3,15E-08	2,80E-05	1,30E-06	1,03E-08	1,30E-06	2,94E-05
Naphtalène	1,54E-08	2,23E-08	8,05E-12	1,16E-11	1,04E-08	6,26E-10	4,97E-12	6,25E-10	2,64E-08
Benzo(a)pyrène	1,23E-11	1,78E-11	3,55E-10	5,14E-10	4,57E-07	2,77E-08	2,19E-10	2,76E-08	4,85E-07
Arsenic	0,00E+00	0,00E+00	2,38E-08	3,45E-08	9,51E-06	4,28E-07	3,40E-09	4,27E-07	9,96E-06
Plomb	0,00E+00	0,00E+00	2,30E-08	3,33E-08	2,97E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,97E-05
Chrome III	0,00E+00	0,00E+00	1,55E-08	2,25E-08	2,00E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,00E-05
Cuivre	0,00E+00	0,00E+00	1,77E-08	2,56E-08	2,28E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,28E-05
Nickel	0,00E+00	0,00E+00	9,70E-09	1,40E-08	1,25E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,25E-05
Mercure	6,81E-12	9,84E-12	3,37E-11	4,88E-11	4,34E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,35E-08
Zinc	0,00E+00	0,00E+00	5,32E-08	7,69E-08	6,85E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,85E-05
Trichlorométhane	6,60E-09	9,55E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,60E-09
Tétrachloroéthylène	5,41E-09	7,82E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,41E-09

ANNEXE 3.5

Données sur la toxicité des substances sélectionnées

Les Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) sont élaborées par les différents organismes selon un schéma général de construction décrit ci après :

* pour les effets toxiques à seuil :

- détermination de l'effet critique,
- détermination d'une dose critique (NOAEL, LOAEL, BMD...) à partir des données observées (études épidémiologiques chez l'homme ou études toxicologiques chez l'animal),
- détermination, si nécessaire, d'une dose critique applicable à l'homme à l'aide d'un ajustement allométrique. Cet ajustement n'est clairement appliqué que pour la voie respiratoire,
- utilisation de facteurs d'incertitude pour obtenir un niveau d'exposition de sécurité applicable à l'homme.

* pour les effets toxiques sans seuil (cancérogènes, génotoxiques, mutagènes) :

- détermination d'un équivalent de dose pour l'homme,
- modélisation des données expérimentales,
- extrapolation vers le domaine des faibles doses, associé au domaine des faibles risques. Celle-ci est soit directement réalisée à partir de la courbe résultant de la modélisation ci-dessus, soit réalisée graphiquement par extrapolation linéaire jusqu'à l'origine. Il faut noter que certaines agences ou organismes qualifiés n'effectuent pas systématiquement toutes ces étapes.

Les valeurs toxicologiques (DJT, CT, ERU et ERUI), issues de la bibliographie existante, considérées dans la présente étude pour chaque substance polluante ont été sélectionnées selon les critères suivants :

- choix prioritaire des données toxicologiques issues d'études chez l'homme (études épidémiologiques, études d'exposition professionnelles...),
- bonne adéquation des durées et voies d'exposition des études toxicologiques (d'où sont issues les valeurs) avec les durées et voies d'exposition des scénarios de la présente étude,
- choix préférentiel des bases de données les mieux renseignées et des valeurs toxicologiques les plus récentes (réactualisées récemment et/ou issues d'études récentes).

L'ensemble des valeurs sélectionnées est regroupé au sein des tableaux suivants :

Substance	Nature du risque	Valeur toxicologique chronique				Espèce	Critère / Facteur de sécurité	Organisme	Justification du choix de la VTR et conformité vis-à-vis de la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014
		Voie d'exposition	Organe(s) cible(s)	Valeur	application d'un FET				
Chlorés									
Hydrocarbures									
Hydrocarbures aliphatiques C ₅ -C ₆	NC	Ingestion	Systèmes rénal, hépatique et neurologique	5 mg/kg/j	-	-	-	-	Estimation à partir des valeurs du n-Hexane
		Inhalation	Systèmes rénal, hépatique et neurologique	18,4 mg/m ³	-				
Hydrocarbures aliphatiques C ₆ -C ₈	NC	Ingestion	Systèmes rénal, hépatique et neurologique	5 mg/kg/j	-	-	-	-	Estimation à partir des valeurs du n-Hexane
		Inhalation	Systèmes rénal, hépatique et neurologique	18,4 mg/m ³	-				
Hydrocarbures aliphatiques C ₉ -C ₁₀	NC	Ingestion	Systèmes hépatique et circulatoire	0,1 mg/kg/j	-	rat	LOAEL / 5000 et NOAEL / 1000	-	-
		Inhalation	Systèmes hépatique et circulatoire	1,0 mg/m ³	-	rat	NOAEL / 1000		
Hydrocarbures aliphatiques C ₁₀ -C ₁₂	NC	Ingestion	Systèmes hépatique et circulatoire	0,1 mg/kg/j	-	rat	LOAEL / 5000 et NOAEL / 1000	-	-
		Inhalation	Systèmes hépatique et circulatoire	1,0 mg/m ³	-	rat	NOAEL / 1000		
Hydrocarbures aliphatiques C ₁₂ -C ₁₆	NC	Ingestion	Systèmes hépatique et circulatoire	0,1 mg/kg/j	-	rat	LOAEL / 5000 et NOAEL / 1000	-	-
		Inhalation	Systèmes hépatique et circulatoire	1,0 mg/m ³	-	rat	NOAEL / 1000		
Hydrocarbures aliphatiques C ₁₄ -C ₁₅	NC	Ingestion	Système hépatique	2,0 mg/kg/j	-	rat	NOAEL / 100	-	-
		Inhalation	Système hépatique	Non disponible	-	rat	NOAEL / 100		
Hydrocarbures aromatiques C ₁₄ -C ₇	NC	Ingestion	Systèmes hépatique et rénal	0,2 mg/kg/j	-	-	-	-	Estimation à partir des valeurs du toluène, éthylbenzène, styrène et
		Inhalation	Systèmes hépatique et rénal	0,4 mg/m ³	-				
Hydrocarbures aromatiques C ₇ -C ₈	NC	Ingestion	Systèmes hépatique et rénal	0,2 mg/kg/j	-	-	-	-	Estimation à partir des valeurs du toluène, éthylbenzène, styrène et
		Inhalation	Systèmes hépatique et rénal	0,4 mg/m ³	-				
Hydrocarbures aromatiques C ₉ -C ₁₀	NC	Ingestion	Diminution du poids corporel	0,04 mg/kg/j	-	-	-	-	Estimation à partir des valeurs de l'isopropylbenzène et des
		Inhalation	Diminution du poids corporel	0,2 mg/m ³	-				
Hydrocarbures aromatiques C ₁₀ -C ₁₂	NC	Ingestion	Diminution du poids corporel	0,04 mg/kg/j	-	-	-	-	Estimation à partir des valeurs de l'isopropylbenzène et des
		Inhalation	Diminution du poids corporel	0,2 mg/m ³	-				
Hydrocarbures aromatiques C ₁₂ -C ₁₆	NC	Ingestion	Diminution du poids corporel	0,04 mg/kg/j	-	-	-	-	Estimation à partir des valeurs de l'isopropylbenzène et des
		Inhalation	Diminution du poids corporel	0,2 mg/m ³	-				
Hydrocarbures aromatiques C ₁₄ -C ₂₁	NC	Ingestion	Système rénal	0,03 mg/kg/j	-	-	-	-	Valeur du pyrène (C ₁₄)
		Inhalation	Système rénal	Non disponible	-	-	-		
Hydrocarbures aromatiques C ₂₁ -C ₃₅	NC	Ingestion	Système rénal	0,03 mg/kg/j	-	-	-	-	Valeur du pyrène (C ₁₄)
		Inhalation	Système rénal	Non disponible	-	-	-		

TPHCWG 1997

Les valeurs toxicologiques de référence sélectionnées pour les coupes d'hydrocarbures totaux concernant l'ingestion et l'inhalation sont celles du TPHCWG, seules valeurs disponibles dans la littérature. En l'absence de VTR proposée par l'ANSES ou d'expertise collective, la sélection des VTR est conforme à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.

Substance	Nature du risque	Valeur toxicologique chronique				Espèce	Critère / Facteur de sécurité	Organisme	Justification du choix de la VTR et conformité vis-à-vis de la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014
		Voie d'exposition	Organe(s) cible(s)	Valeur	application d'un FET				
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques									
Approche générale concernant l'évaluation des risques sanitaires cancérogènes pour cette famille : application d'un facteur d'équivalence toxique - FET									
La démarche adoptée pour cette famille de substances consiste à attribuer à chaque composé un coefficient de pondération appelé facteur d'équivalence toxique (FET) par référence à un composé de référence en considérant qu'il n'existe pas d'interactions antagoniste ou synergiques entre les composés du mélange et que chaque composé agit selon le même mécanisme d'action toxique. Cette démarche permet de déterminer le potentiel toxique cancérogène de chaque composé par rapport au potentiel toxique cancérogène du B(a)P par application des facteurs d'équivalence de toxicité proposés par Nisbet et LaGoy (1992)									
Benzo(a)pyrène	C, M	Ingestion	Système digestif, respiratoire et circulatoire	0,2 [mg/kg/j] ¹	1	rat	1	RIVM 2001	VTR basée sur 2 études animales récentes conduites par Kroese et al (2001) et Culp et al (1998) et conformes aux bonnes pratiques de laboratoire (mode d'administration de la substance / période d'observation / groupe témoin). Les autres valeurs proposées sont jugées moins pertinentes : ERUo de l'US-EPA (1994) fondée sur les résultats issus de 4 études animales présentant des lacunes dans l'élaboration de leur protocole et la durée d'exposition. ERUo de l'OEHA (2002) fondée sur une étude ancienne Neal et Rigdon (1967) qui présente de nombreuses déficiences dans l'élaboration du protocole. En l'absence de VTR proposée par l'ANSES ou d'expertise collective, la sélection des VTR est conforme à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.
		Inhalation	Système respiratoire	1,1 [mg/m ³] ¹	1	hamster	1	OEHA 2002	actualisation de la base de données VTR de l'OMS non retenue car définie pour un profil de mélange de HAP spécifique et rarement identifié ainsi sur les sites En l'absence de VTR proposée par l'ANSES ou d'expertise collective, la sélection de la VTR est conforme à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.
Naphtalène	NC	Ingestion	Système circulatoire, neurologique, digestif et poids corporel	0,02 mg/kg/j	-	rat	NOAEL / 3000	IRIS 1998	chronique > subchronique actualisation de la base de données valeur du RIVM non spécifique de la substance En l'absence de VTR proposée par l'ANSES ou d'expertise collective, la sélection de la VTR est conforme à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.
		Inhalation	Système neurologique, et respiratoire	0,037 mg/m ³	-	rat	LOAEC (équivalent humain) / 250	ANSES 2013	A qualité de construction égale, la VTR de l'ANSES est retenue conformément à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.
	C	Ingestion	Système circulatoire, neurologique, digestif et poids corporel	0,0002 [mg/kg/j] ¹	-	rat	TEQ / BaP	Nisbet et LaGoy, 1992	seule VTR disponible En l'absence de VTR proposée par l'ANSES ou d'expertise collective, la sélection de la VTR est conforme à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.
		Inhalation	Système neurologique, hépatique, rénal, circulatoire et poids corporel	0,0056 [mg/m ³] ¹	0,001	rat	BMCL0	ANSES 2013	A qualité de construction égale, la VTR de l'ANSES est retenue conformément à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.
Hydrocarbures Monoaromatiques									
Benzène	NC	Ingestion	Systèmes circulatoire, immunitaire, neurologique et mutagène	0,0005 mg/kg/j	-	homme	BMCL / 10	ATSDR 2007	étude sur l'homme > études animales BMDL > NOAEL étude plus récente base de données actualisée plus récemment En l'absence de VTR proposée par l'ANSES ou d'expertise collective, la sélection des VTR est conforme à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.
		Inhalation	Systèmes circulatoire, immunitaire, neurologique et mutagène	0,00975 mg/m ³	-	homme	BMCL / 10	ATSDR 2005	étude sur l'homme > études animales BMCL > LOAEL étude plus récente base de données actualisée plus récemment En l'absence de VTR proposée par l'ANSES ou d'expertise collective, la sélection des VTR est conforme à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.
	C, M	Ingestion	Systèmes circulatoire, immunitaire, neurologique et mutagène	0,055 [mg/kg/j] ¹	-	homme	-	IRIS 2000	VTR les plus conservatrices de l'USEPA étude sur l'homme > études animales fiabilité de la base de données En l'absence de VTR proposée par l'ANSES ou d'expertise collective, la sélection des VTR est conforme à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.
		Inhalation	Systèmes circulatoire, immunitaire, neurologique et mutagène	0,026 [mg/m ³] ¹	-	homme	-	ANSES 2013	VTR les plus conservatrices de l'USEPA étude sur l'homme > études animales fiabilité de la base de données La valeur OMS a été établie par rapport à la Directive relative à la pollution de l'air ambiant (1997) et celles du RIVM ont été fixées par un groupe de travail de l'Union Européenne. Ces dernières valeur disposent de moins de lisibilité que celles de l'USEPA et de l'ANSES (études de référence), c'est pourquoi elles n'ont pas été retenues. A qualité de construction égale, la VTR de l'ANSES est retenue conformément à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.

Substance	Nature du risque	Valeur toxicologique chronique				Espèce	Critère / Facteur de sécurité	Organisme	Justification du choix de la VTR et conformité vis-à-vis de la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014
		Voie d'exposition	Organe(s) cible(s)	Valeur	application d'un FET				
Ethybenzène	NC	Ingestion	Systèmes hépatique et rénal	0,1 mg/kg/j	-	rat	NOAEL / 1000	IRIS 1987	étude de toxicité chronique > subchronique autres VTR basées sur la même étude : choix de la plus conservatrice (USEPA) En l'absence de VTR proposée par l'ANSES ou d'expertise collective, la sélection de la VTR est conforme à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.
		Inhalation	Système neurologique	1,5 mg/m ³	-	rat	BMCL ₅₀ / 25	ANSES 2016	La VTR de l'ANSES est retenue conformément à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.
	C	Ingestion	Développement fœtal, système rénal	0,011 [mg/kg/j] ¹	-	rat	1	OEHHA 2007	seules VTR disponibles En l'absence de VTR proposée par l'ANSES ou d'expertise collective, la sélection des VTR est conforme à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.
		Inhalation	Développement fœtal, système rénal	0,0025 [mg/m ³] ¹	-	rat	1	OEHHA 2007	
Toluène	NC	Ingestion	Systèmes hépatique, rénal et immunitaire	0,08 mg/kg/j	-	rat	BMDL / 3000	IRIS 2005	BMDL > NOAEL > LOAEL exposition chronique > exposition subchronique actualisation de la base de données En l'absence de VTR proposée par l'ANSES ou d'expertise collective, la sélection des VTR est conforme à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.
		Inhalation	Systèmes neurologique	19 mg/m ³	-	homme	NOAEL / 5	Anses 2017	La VTR de l'ANSES est retenue conformément à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.
Xylènes totaux	NC	Ingestion	Système hépatique	0,2 mg/kg/j	-	rat	NOAEL / 1000	IRIS 2003	NOAEL > LOAEL autres VTR dérivée d'une NOAEL issues de la même étude de référence Health Canada actualisée moins récemment et moins bien documentée En l'absence de VTR proposée par l'ANSES ou d'expertise collective, la sélection de la VTR est conforme à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.
		Inhalation	Développement fœtal, systèmes neurologique et respiratoire	0,1 mg/m ³	-	rat	NOAEL / 300	ANSES 2020	La VTR de l'ANSES est retenue conformément à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.
Métaux lourds et métalloïdes									
Arsenic	NC	Ingestion	Systèmes cutané, circulatoire et neurologique	0,00045 mg/kg/j	-	homme	BMDL ₀₅ / 5	UBA 2008	BMDL > NOAEL > LOAEL études épidémiologiques récentes sur des populations ingérant de l'eau contaminée (2004 et 2006) Sélection de la VTR basée sur une expertise scientifique mais non conforme à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014
		Inhalation	Systèmes cutané, circulatoire et neurologique	0,0001 mg/m ³	-	homme	LOAEL / 100	UBA 2008	La VTR issue de trois études épidémiologiques en milieu professionnel L'origine de la LOAEL ayant servi de base pour la construction de la VTR proposée par le RIVM est issue d'un DRAFT de l'ATSDR de 1999 Sélection de la VTR basée sur une expertise scientifique mais non conforme à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014
	C	Ingestion	Systèmes cutané, circulatoire et neurologique	1,5 [mg/kg/j] ¹	-	homme	1	IRIS 1998	VTR identique pour toutes les bases de données En l'absence de VTR proposée par l'ANSES ou d'expertise collective, la sélection de la VTR est conforme à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.
		Inhalation	Systèmes cutané, circulatoire et neurologique	4,3 [mg/m ³] ¹	-	homme	1	IRIS 1998	VTR jugée la plus pertinente car basée sur des moyennes géométriques de plusieurs études chez l'homme. En l'absence de VTR proposée par l'ANSES ou d'expertise collective, la sélection de la VTR est conforme à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.
Chrome III	NC	Ingestion	Systèmes rénal, digestif et cutané	1,5 mg/kg/j	-	rat	NOAEL / 1000	OMS 1998	VTR sélectionnée de préférence à celle du RIVM car elle dérive d'une approche plus conservatrice. En l'absence de VTR proposée par l'ANSES ou d'expertise collective, la sélection de la VTR est conforme à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.
		Inhalation	Systèmes rénal, digestif et cutané	0,06 mg/m ³	-	homme	10	RIVM 2001	seule VTR disponible En l'absence de VTR proposée par l'ANSES ou d'expertise collective, la sélection de la VTR est conforme à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.
Cuivre	NC	Ingestion	Système digestif	0,05 mg/kg/j	-	homme	NOAEL / 1	UBA 1999	VTR basée sur une NOAEL exposition chronique > subchronique base de données la mieux référencée En l'absence de VTR proposée par l'ANSES ou d'expertise collective, la sélection de la VTR est conforme à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 (l'UBA n'est toutefois pas mentionné dans la note précitée).
		Inhalation	-	0,001 mg/m ³	-	lapin	NOAEL / 600	RIVM 2001	seule VTR disponible En l'absence de VTR proposée par l'ANSES ou d'expertise collective, la sélection de la VTR est conforme à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.
Mercure	NC	Ingestion	Systèmes rénal, neurologique, immunitaire et développement fœtal	0,002 mg/kg/j	-	rats	NOAEL / 100	OMS 2005	VTR bénéficiant d'une actualisation plus récente que celle de l'UBA. En l'absence de VTR proposée par l'ANSES ou d'expertise collective, la sélection de la VTR est conforme à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.
		Inhalation	Systèmes neurologique et rénal, développement fœtal	0,0003 mg/m ³	-	homme	LOAEL / 30	IRIS 1995	VTR basée sur plusieurs études épidémiologiques et résulte d'une médiane entre 3 LOAEL. Les autres valeurs n'ont pas été retenues car celles de l'ATSDR, l'UBA et du RIVM sont basées sur une seule étude épidémiologique, celle de l'OMS n'est pas suffisamment renseignée et celle de l'OEHHA se base sur les mêmes études que celle de l'USEPA, mais en reprenant un seul LOAEL. En l'absence de VTR proposée par l'ANSES ou d'expertise collective, la sélection de la VTR est conforme à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.

Substance	Nature du risque	Valeur toxicologique chronique				Espèce	Critère / Facteur de sécurité	Organisme	Justification du choix de la VTR et conformité vis-à-vis de la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014
		Voie d'exposition	Organe(s) cible(s)	Valeur	application d'un FET				
Nickel	NC	Ingestion	Systèmes circulatoire, rénal, hépatique et développement fœtal	0,012 mg/kg/j	-	homme	LOAEL	OMS 2005	VTR sélectionnée car elle dérive d'une étude relativement récente chez l'homme (personnes sensibilisées au nickel) contrairement aux études réalisées chez des rongeurs sur lesquelles se fonde l'ITER, l'USEPA ou l'UBA pour construire leur VTR. En l'absence de VTR proposée par l'ANSES ou d'expertise collective, la sélection de la VTR est conforme à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.
		Inhalation	Système respiratoire	0,0009 mg/m ³	-	rat	NOAEL / 30	ATSDR 2003	VTR réactualisée et dérivant d'études animales plus récentes et de longue durée (2 ans). En l'absence de VTR proposée par l'ANSES ou d'expertise collective, la sélection de la VTR est conforme à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.
	C	Ingestion	-	-	-	-	1	-	La valeur cancérogène par ingestion de l'OEHA n'a pas été retenue car elle dérive de la valeur par inhalation, les études référencées n'ayant pu démontrer le caractère cancérogène du nickel par ingestion. En l'absence de VTR proposée par l'ANSES ou d'expertise collective, la sélection de la VTR est conforme à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.
		Inhalation	Système respiratoire	0,38 [mg/m ³] ⁻¹	-	homme	1	OMS 2000	VTR réactualisée par rapport à celle de l'USEPA et mieux renseignée que celle de l'OEHA. En l'absence de VTR proposée par l'ANSES ou d'expertise collective, la sélection de la VTR est conforme à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.
Plomb	NC	Ingestion	Systèmes circulatoire, rénal, neurologique, digestif et osseux	15 µg/l (plombémie) (0,0063 mg/kg)	-	homme	1	ANSES 2012	La "VTR interne" de l'ANSES est retenue conformément à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.
		Inhalation	Systèmes circulatoire, rénal, neurologique, digestif et osseux	0,0005 mg/m ³	-	enfant	1	OMS 1999	Concentration moyenne annuelle limite dans l'air ambiant basée sur une teneur limite de plomb dans le sang de 30 µg/l. Celle de l'UBA n'a pas été retenue car elle dérive de la voie par ingestion.
	C	Ingestion	Système rénal	0,0085 [mg/kg/j] ⁻¹	-	Rat	1	OEHA 2002	Les VTR pour des effets sans seuil (notamment cancérogènes) sont proposées pour une exposition au plomb et ses dérivés inorganiques. Ces valeurs ont été calculées à partir d'une étude de cancérogénèse expérimentale chez le rat, exposé au plomb dans l'alimentation. Ces données ont été extrapolées à l'homme par le biais d'un modèle multistades linéarisé, et la prise en compte des taux d'absorption du plomb dans l'organisme humain (50% par inhalation et 10% par ingestion). En l'absence de VTR proposée par l'ANSES ou d'expertise collective, la sélection de la VTR est conforme à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.
		Inhalation	Système rénal	0,012 [mg/m ³] ⁻¹	-	Rat	1	OEHA 2002	En l'absence de VTR proposée par l'ANSES ou d'expertise collective, la sélection de la VTR est conforme à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.
Zinc	NC	Ingestion	Système circulatoire	0,3 mg/kg/j	-	homme	LOAEL / 3	IRIS 2005	VTR identique à celle de l'ATSDR la VTR du RIVM dérive de la même étude En l'absence de VTR proposée par l'ANSES ou d'expertise collective, la sélection de la VTR est conforme à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.
Chlorés									
Trichlorométhane	NC	Ingestion	Systèmes hépatique, neurologique et rénal	0,01 mg/kg/j	-	chien	LOAEL / 1000	IRIS 1992 / OMS 2004	VTR retenue conformément à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 et aux recommandations de l'INERIS.
		Inhalation	Systèmes hépatique, neurologique et rénal	0,063 mg/m ³	-	souris	NOAEL / 100	AFSSET 2009	VTR de l'ANSES (ex AFFSET) retenue conformément à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014. Par ailleurs, l'utilisation d'un NOAEL dans la construction d'une VTR est privilégiée vis à vis de l'utilisation d'un LOAEL. La base de données est, par ailleurs, mieux renseignée que le RIVM.
	C, M	Ingestion	-	-	-	-	-	-	Conformément aux recommandations de l'INERIS et de l'ANSES (cf rapport "Élaboration de VTR fondées sur les effets cancérogènes pour le chloroforme, le tétrachlorure de carbone et le 1,2-dichloroéthane" en date de juin 2009), les VTR existantes pour les effets systémiques à seuil ne sont pas utilisés, la VTR établie pour les effets cancérogènes non génotoxiques à seuil étant privilégiée et permettant de protéger des effets précurseurs des effets cancérogènes.
		Inhalation	-	-	-	-	-	-	Conformément aux recommandations de l'INERIS et de l'ANSES (cf rapport "Élaboration de VTR fondées sur les effets cancérogènes pour le chloroforme, le tétrachlorure de carbone et le 1,2-dichloroéthane" en date de juin 2009), les VTR existantes pour les effets systémiques à seuil ne sont pas utilisés, la VTR établie pour les effets cancérogènes non génotoxiques à seuil étant privilégiée et permettant de protéger des effets précurseurs des effets cancérogènes.
	Cng	Inhalation	Système rénal	0,063 mg/m ³	-	souris	NOAEL / 100	AFSSET 2009	VTR de l'ANSES (ex AFFSET) retenue conformément à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 et aux recommandations de l'INERIS. Les différentes études ne mettent pas en évidence de génotoxicité mais au augmentation significative des cas de tumeur à partir d'une seuil de concentration laissant suspecter cancérogène à seuil.

Substance	Nature du risque	Valeur toxicologique chronique			Espèce	Critère / Facteur de sécurité	Organisme	Justification du choix de la VTR et conformité vis-à-vis de la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014
		Voie d'exposition	Organe(s) cible(s)	Valeur				
Tétrachloroéthylène	NC	Ingestion	Systèmes neurologique, rénal, hépatique, immunitaire et développement fœtal	0,006 mg/kg/j	-	homme	LOAEL/1000	IRIS 2012 Valeur Toxicologique de Référence construite à partir de deux études épidémiologiques humaines VTR dérivée de la valeur par inhalation via le modèle PBPK de Chiu & Ginsberg (2011) attestant de la bonne compréhension des mécanismes d'action du PCE chez l'Homme. VTR retenue à défaut de valeur plus pertinente pour la mise en oeuvre d'Evaluation Quantitative de Risques Sanitaires malgré l'avis de l'ANSES recommandant de ne pas retenir cette VTR dont la méthode de construction n'est pas conforme à la méthodologie définie par le GT VTR (rapport d'expertise collective d'avril 2013).
		Inhalation	Systèmes neurologique, rénal, hépatique, immunitaire et développement fœtal	0,4 mg/m ³	-	homme	LOAEC / 30	ANSES 2018 VTR de l'ANSES (ex AFFSET) retenue conformément à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014
	C, M	Ingestion	Système hépatique	0,0021 [mg/kg/j] ¹	-	souris	BMDL ₁₀	IRIS 2012 VTR élaborée à partir d'études animales et extrapolée à l'Homme via le modèle PBPK de Chiu & Ginsberg (2011) attestant de la bonne compréhension des mécanismes d'action de PCE chez l'Homme Seule VTR pertinente disponible VTR retenue conformément à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 (avis d'expertise collective d'avril 2013)
		Inhalation	Système hépatique	0,00026 [mg/m ³] ¹	-	souris	BMCL ₁₀	IRIS 2012 ANSES 2018 VTR préférée à celle de l'OEHHHA (également établie à partir d'une étude chez la souris de qualité équivalente) du fait : - de l'absence de connaissance suffisante sur le métabolisme du PCE lors de l'établissement de la VTR de l'OEHHHA (incertitude importante lors de l'extrapolation inter espèce) et en particulier l'absence de caractérisation précise du métabolite induisant des effets cancérigènes, - modèle PBPK de Chiu & Ginsberg (2011) plus récent que celui utilisé par l'OEHHHA et mentionnant les différents mécanismes d'action du PCE chez l'Homme et notamment sa dégradation en TCA (Acide Trichloroacétique) et en DCA (Acide Dichloroacétique) qui constituent les métabolites cancérigènes pour le système hépatique (type de cancer retenu pour la construction de la VTR). VTR retenue conformément à la méthodologie définie dans la note d'information N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 (avis d'expertise collective d'avril 2013).

NC : non cancérogène

C : cancérogène ; Cng : cancérogène avec seuil
NOAEL : Non Observed Adverse Effect Level
LOAEL : Low Observed Adverse Effect Level
ERU : Excès de Risque Unitaire par ingestion
ERUI : Excès de Risque Unitaire par inhalation
TEQ : Equivalent de toxicité (HAP)
%abs : pourcentage d'absorption de la substance dans l'organisme
nd : non décrit dans la base de données

BMD₁₀ (BMC₁₀) : Benchmark Dose (L : Level) (Concentration) pour 10% d'augmentation de l'effet
IRIS : Integrated Risk Informations of Substances (U.S. - EPA)
UBA : Umweltbundesamt (Deutschland / Germany)
OEHHHA : Office of Environmental Health Hazard Assessment
OMS : Organisation Mondiale de la Santé
ATSDR : Agency for toxic substances and disease registry
RIVM : Institut de l'Environnement et de la Santé Publique Néerlandais
TPHCWG : Total Petroleum Hydrocarbons Criteria Working Group

ANNEXE 3.6

Références bibliographiques

Références bibliographiques utilisées pour la mise en œuvre de l'évaluation

1. ADEME - Fabre, B., Roth, E., Heintz, V. (2005) : Les isomères de l'Hexachlorocyclohexane. Rapport UHA - ADEME 2005.
2. ALMBL : Arbeitsgemeinschaft der leitenden Medizinalbeamtinnen und -Beamten der Länder (1995): Standards zur Expositionsabschätzung, BAGS, Hamburg, BRD.
3. AFSSET (2010) : Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) - Elaboration de VTR fondées sur les effets reprotoxiques. Edition scientifique. Air et agents chimiques. 8 Avril 2010
4. ATSDR : Agency for Toxic Substances and Disease Registry. <http://www.atsdr.cdc.gov>
5. BRGM (2012) Guide d'utilisation de l'outil HYDROTEX – Réutilisation hors site des terres excavées en technique routière et dans les projets d'aménagement. Rapport BRGM/RP-60227-FR de février 2012.
6. CIBLEX : Banque de données de paramètres descriptifs de la population française au voisinage d'un site pollué. Version 0. IRSN, ADEME (juin 2003)
7. Courgeau, D., Nedellec, V., Empereur-Bissonnet, P. (1999) La durée de résidence dans un même logement, Essai de mesures à l'aide de fichiers EDF, *Population*, 54(2), 1999, 333-342
8. Dumontier, F., Pan Ké Shon, J.-L. (oct 1999) En 13 ans, moins de temps contraints et plus de loisirs. INSEE PREMIERE. n°675. Tableau « Une journée moyenne en France en 1999 ».
9. Hawley, J. K. (1985) Assessment of health risk from exposure to contaminated soil. *Risk Analysis*. 5, 4, 289-302.
10. HSDB database. <http://toxnet.nlm.nih.gov/>
11. INERIS: Institut National pour l'Environnement Industriel et les Risques. Fiches de données toxicologiques sur les substances dangereuses. <http://www.ineris.fr>
12. INCA2 (2009) Étude Individuelle Nationale des Consommations Alimentaires 2 (2006-2007). Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments
13. INSEE (1992) Les enfants de moins de 6 ans. INSEE contours et caractères. P 93
14. INSEE - Monteiro, S. (mars 1996) Les vacances des français – Tendances longues et résultats détaillés de 1993 à 1994. INSEE RESULTATS. Consommation modes de vie n°80-81.
15. Johnson, P., C., Ettinger, R., A. (1991) Heuristic Model for Predicting the Intrusion Rate of Contaminant Vapors into Buildings. *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 25, No. 8, 1991.
16. MEDAD : Ministère de l'Ecologie et du Développement et de l'Aménagement Durables. La visite du site - Version 0. 8 Février 2007.
17. MEDAD : Ministère de l'Ecologie et du Développement et de l'Aménagement Durables. Schéma conceptuel et modèle de fonctionnement - Version 0. 8 Février 2007

- 18.MEDAD : Ministère de l'Ecologie et du Développement et de l'Aménagement Durables. Diagnostic du site - Version 0. 8 Février 2007
- 19.MEDAD : Ministère de l'Ecologie et du Développement et de l'Aménagement Durables. La démarche d'Interprétation d'Etat des Milieux - Version 0. 8 Février 2007
- 20.MEDAD : Ministère de l'Ecologie et du Développement et de l'Aménagement Durables. L'analyse des risques résiduels - Version 0. 8 Février 2007
- 21.OMS - IPCS - INCHEM. Environmental Health Criteria Monographs. <http://www.inchem.org/ehc.html>
- 22.Risk Assessment Information System (RAIS). Provisional values given y Superfund. <http://risk.lsd.ornl.gov/cgi-bin/tox>
- 23.RIVM : Institut de l'Environnement et de la Santé Publique Néerlandais, op cit TERA-ITER database.
- 24.Stanek, E. J., Calabrese, E. J. (1995) Soil ingestion estimates for use in site evaluations based on the best tracer method. Human and Ecological Risk Assessment. 1, 2, 133-156.
- 25.TERA-ITER Database : Toxicology Excellence for Risk Assessment. <http://www.tera.org/iter>
- 26.Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group Series, Vol. 1, (mars 1998) - Analysis of Petroleum Hydrocarbons in Environmental Media.
- 27.UBA - Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutzund Reaktorsicherheit (September 1995) Aktualisierte Fortschreibung der Basisdaten Toxicologie für umweltrelevante Stoffe zur Gefahrenbeurteilung bei Altlasten - mit Ableitung von toxikologisch begründeten tolerierbaren resorbierten Körperdosen (TRD-Werten).
- 28.UBA (2001) - Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen - Zur Frage von Unterschieden in der Empfindlichkeit von Kindern gegenüber krebserzeugenden Stoffen im Vergleich zu Erwachsenen
- 29.UPDS - Guide qualité EDR. Octobre 2000.
- 30.US EPA (1988) Superfund exposure assessment manual. Washington,DC. EPA/540/1-88/001.
- 31.US EPA (1992) Dermal exposure assessment: principles and applications. Interim report. EPA/600/8-91/011B.
- 32.US EPA / IRIS: Integrated Risk Information System. <http://www.epa.gov/ngispgm3/iris>
- 33.US EPA (1996) Soil Screening Guidance: technical background document. 9355.4-17A, Washington,DC: Office of Emergency and Remedial Response. pp.1-168.
- 34.US EPA (2005) : EPA's new guidance for assessing cancer risks from early life exposures : Genotoxic mode of action and implications for human health-based standards.
- 35.Veerkamp W. and ten Berge W. (1994) The concept of HESP - Reference manual - Human exposure to soil pollutants - Version 2.10a. Shell Internationale Petroleum Maatschappij B.V. The Hague.
- 36.Vonk, M.W. KIWA, (Ed.) (1985) Permeatie van organische verbindingen door leidingmaterialen. Mededeling nr. 85, Nieuwegein.

ANNEXE 4

Zones prévisionnelles de traitement des sols



Investigations :

- **Si (S1 à S17):** Sondages (pack ISD + Amiante) - SS4

- Zone des travaux
- Emprise du futur bâtiment
- Limite du site

Zones de dépassement des CMA⁽¹⁾

Valeurs des CMA :

- Arsenic : 30 mg/kg
- ▨ Benzo(a)pyrène : 5 mg/kg
- ▨ Plomb : 60 mg/kg

⁽¹⁾ : Concentration Maximale Admissible


Projet :		Projet Centre Nautique sis rue Jeanne d'Arc à ROSCOFF (29)	
Titre :	Projet n° :	8.21.0122	
	Echelle :		
	Fichier :	8A21_0122a3bis.dwg	
	Dessinateur :	YT	
Demandeur :	MG	03/11/2021	
	Responsable :	GR	
Client :		Commune de Roscoff	
		 HPC INTERNATIONAL Hôtel de Recherche Centre de Perharidy 29680 ROSCOFF	

P:\Documents\DAO\ - PLANS HPC-IBROSCOFF Communes\8A21_0122a3bis.dwg - Plots Soils ETM Concentration 2021_09_10.rvt

Conditions d'utilisation du rapport
--

Le présent rapport (dont ses annexes) est :

- rédigé à l'usage exclusif du donneur d'ordre et de manière à répondre aux objectifs contractuels,
- la propriété exclusive du donneur d'ordre, les conséquences des décisions prises suite aux recommandations de ce rapport ne pourront en aucun cas être imputées à HPC INTERNATIONAL S.A.S.,
- basé sur les connaissances techniques, réglementaires et scientifiques disponibles à la date d'émission du rapport et se limite à l'emprise de la zone étudiée,
- établi selon les informations fournies à HPC INTERNATIONAL S.A.S. et les connaissances du moment,
- indissociable, une utilisation partielle ou toute interprétation dépassant les recommandations émises ne saurait engager la responsabilité de HPC INTERNATIONAL S.A.S. sauf en cas d'accord préalablement établi.

Rapport HPC-I 8210124 a du 18 janvier 2022			
RESPONSABLE DE PROJET		SUPERVISEUR	
<i>L. ROBIN VIGNERON</i>		<i>F. KARG</i>	
Date:	Visa:	Date:	Visa:
18/01/2022		18/01/2022	