

**Développement d'une méthodologie de
gestion des terres excavées issues de
l'aménagement de l'île de Nantes
Phase 1 : Caractérisation des sols et
recensement des sources de pollution
potentielles**

Rapport final

BRGM/RP-66013-FR

Novembre 2016

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 13POLB15

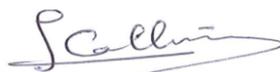
**C. Le Guern, V. Baudouin, E. Bridier, C. Cottineau, M. Delayre, F. Desse-Engrand,
M. Grellier, A. Ménoury, E. Milano, A. Mouny, S. Pollett, B. Sauvaget, P. Bâlon**
Avec la collaboration de **P. Conil** et **L. Rouvreau**

Vérificateur :

Nom : CALLIER Lucien

Date : 30/11/2016

Signature :



Approbateur :

Nom : CONIL Pierre

Date : 12/12/2016

Signature :



En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique,
l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.



Mots clés : IHU, atlas numérique, SIG, BASIAS, sites industriels, pollution potentielle, contaminant, historique, géologie urbaine, modèle, 3D, sols, sous-sol, fond géochimique, terres excavées, Ile de Nantes, Loire-Atlantique, France

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

Le Guern C., V. Baudouin, E. Bridier, C. Cottineau, M. Delayre, F. Desse-Engrand, M. Grellier, E. Milano, A. Mouny, S. Pollett, B. Sauvaget, A. Ménoury, P. Bâlon avec la collaboration de P. Conil et L. Rouvreau (2016) - Développement d'une méthodologie de gestion des terres excavées issues de l'aménagement de l'île de Nantes - Phase 1 : Caractérisation des sols et recensement des sources de pollution potentielles. Rapport BRGM/RP-66013-FR, 122 p., 27. Ill., 7 Annexes.

© BRGM, 2016, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

L'île de Nantes fait l'objet d'un programme de réaménagement ambitieux sur 30 ans (2000-2030). La Samoa¹, aménageur de l'île, souhaite pour la 2ème partie du programme d'aménagement être en mesure d'anticiper les problèmes liés aux pollutions des sols. Ces derniers peuvent être liés aux contaminations issues des anciennes activités industrielles, mais aussi à la qualité des remblais utilisés. Au-delà des enjeux sanitaires et environnementaux, ces problèmes de pollution représentent des enjeux économiques importants, notamment en lien avec la gestion des terres excavées. En l'absence de méthodologie pour acquérir la connaissance nécessaire pour anticiper ces questions de qualité géochimique des terrains concernés par les réaménagements, et notamment de méthodologie nationale de caractérisation des fonds géochimiques, la Samoa s'est rapprochée du BRGM pour développer des méthodologies adaptées, avec le soutien financier de l'Ademe.

Le projet a été conçu en 2 phases, la phase 1 présentée ici ayant pour objectifs :

- de localiser l'emprise des activités industrielles et de service et les sources de pollution potentiellement associées (IHU²), tout en tenant compte des études et des aménagements réalisés (diagnostics, dépollution, gestion des terres excavées sur site et hors site),
- de caractériser les sols et le proche sous-sol de l'île de Nantes (structure, nature et origine de matériaux, fond géochimique naturel ou anthropisé spécifique à l'île de Nantes),
- d'évaluer les volumes de terres à excaver potentiellement générées par les opérations d'aménagement à venir, compatibles avec le fond géochimique en vue de leur réutilisation, ou qui pourraient à défaut être admises en ISDI³ en l'absence de filière de valorisation, et de vérifier qu'elles répondent bien aux critères d'acceptation.

Les méthodologies développées dans le cadre de l'IHU concernent en particulier la gestion spatio-temporelle des données et une identification des polluants potentiels associés à chacune des sources de pollutions potentielles recensées à l'échelle de la parcelle cadastrale. L'analyse des activités, produits et procédés et leur succession permet de proposer cinq niveaux de potentialité par polluant : nul à très faible, faible, moyen, fort, très fort. Les couches d'informations géoréférencées et les bases de données associées vont être intégrées au SIG de la collectivité et être consultables par les différents services et les aménageurs à partir de requêtes prédéfinies ou créées par l'opérateur. La base de données BASIAS, outil de communication vers les citoyens, a

¹ Société d'Aménagement de la Métropole Ouest Atlantique.

² IHU : l'Inventaire Historique Urbain vise à connaître la répartition des sites industriels anciens, ainsi que leur surface par calage sur le parcellaire cadastral, et les polluants potentiels qu'auraient pu laisser les anciennes activités industrielles.

³ ISDI : Installation de Stockage de Déchets Inertes

été en outre mise à jour. Sur l'île de Nantes, le nombre de sites recensés est ainsi passé de 94 initialement à 199 au final.

Dans le cadre de la cartographie des remblais, un des challenges a été de définir une typologie de remblais ayant un sens géochimique et géologique permettant de les distinguer selon leur potentiel polluant intrinsèque. Pour ce faire, une démarche itérative a été mise en place. Elle s'appuie sur une synthèse bibliographique internationale, sur les données de sondages collectées et sur la vérification de la pertinence de la typologie par croisement avec des données de géochimie rassemblées dans une base de données géoréférencées. 3 types de remblais ont été définis. Ils présentent respectivement un potentiel de contamination intrinsèque fort, moyen ou faible selon la qualité des matériaux contenus (ex. scories, mâchefers, ...). Cette typologie a été utilisée pour visualiser les différents types de remblais selon plusieurs modes de représentation (3D sous GDM, 2D sous ArcGis).

Un autre challenge a été d'évaluer la compatibilité des terres avec le fond géochimique. Dans ce cadre, une réflexion a été menée sur la notion même de fond géochimique anthropisé. En s'appuyant sur la notion d'anomalie de fond géochimique, la notion de seuil de compatibilité de fond géochimique est proposée. Les calculs statistiques par type de remblai et pour les alluvions, à partir des données d'analyses représentatives sélectionnées dans la base de données de géochimie, ont permis de définir des seuils de compatibilité avec le fond géochimique anthropisé local, spécifiques à l'île de Nantes, pour la gestion des terres excavées dans ce secteur.

Les calculs de volumes en fonction des seuils de compatibilité de fond géochimique anthropisé montrent des perspectives de réutilisation intéressantes des terres : environ 300 000 m³ seraient réutilisables sans contrainte au niveau du CHU (0 et 4 m de profondeur), et environ 95 000 m³ seraient réutilisables après vérification et traitement éventuel. Des perspectives de réutilisation intéressantes s'offrent en outre pour les sables des remblais hydrauliques massivement présents sur l'île (60 % des matériaux à 2 m de profondeur). L'intérêt d'une plateforme de gestion des terres excavées apparaît ainsi clairement, celle-ci devant permettre de stocker les terres et de les traiter si besoin avant réutilisation.

Compte-tenu du volume important de terres à excaver, un excédent est attendu par rapport aux possibilités de valorisation. Une forte proportion de matériaux apparaît acceptable en ISDI (environ 80 % sur l'emprise du CHU). Les dépassements de seuil apparaissent liés en majorité à des pollutions ponctuelles, et dans une moindre mesure à la qualité intrinsèque des remblais. Une question se pose néanmoins pour l'antimoine (Sb) qui est parfois le seul paramètre déclassant.

Les résultats opérationnels sont nombreux et présentent de forts enjeux économiques. Néanmoins certains verrous n'ont pu être levés dans le cadre du projet et méritent la poursuite des recherches.

Les éléments acquis au cours de cette première phase pourront être affinés en phase 2, notamment pour préciser les potentialités de réutilisation, mais aussi les seuils de réutilisation en fonction de différents types d'usages. Un autre volet envisagé en phase 2 est le dimensionnement de la plateforme et l'assistance pour sa mise en place.

Avertissement

Pour l'IHU, le recensement est basé sur la compilation de sources bibliographiques (Archives départementales de la Loire-Atlantique principalement, archives municipales...).

L'IHU consiste principalement en une synthèse bibliographique complétée par un repérage précis des parcelles où les activités potentiellement polluantes ont été recensées. De par la méthodologie, cet inventaire ne doit pas être considéré comme exhaustif. Les résultats sont valables au vu des dossiers consultés au moment de l'étude et seront sujets à évolution en fonction des mises à jour envisagées ultérieurement.

Les informations relatives aux sites industriels recensés sont conservées dans BASIAS, qui est la base nationale de données des sites industriels et activités de service. Cette base, gérée par le BRGM, a été déclarée à la CNIL (Commission National sur l'Informatique et les Libertés) en septembre 1998.

L'inscription d'un site dans Basias ne préjuge pas d'une pollution à son endroit.

Pour la qualité des sols urbains, l'évaluation s'est faite sur la base des données disponibles ayant pu être intégrées dans la base de données locale constituée au moment de l'exploitation des rapports consultés. Les interprétations réalisées sont contraintes par les limitations inhérentes à la qualité des données d'origine.

Ainsi, le verrou scientifique lié à la représentativité des données n'a pu être levé ici ; il aurait nécessité une approche géostatistique spécifique, que les moyens du projet ne permettaient pas. Le développement méthodologique correspondant est intégré dans un sujet de thèse soutenue par l'Ademe.

Par ailleurs, les notions mêmes de fond géochimique et de compatibilité de fond géochimique, et la méthode d'évaluation de la compatibilité avec le fond géochimique restent à préciser, comme en atteste la mise en place d'un groupe national de travail sur le fond géochimique en 2015.

Sommaire

1. Introduction	13
1.1. CONTEXTE.....	13
1.2. OBJECTIFS	14
1.3. SUIVI.....	14
2. Description de l'île de Nantes	15
2.1. Contexte géographique et économique	15
2.2. Contexte naturel et environnemental	16
2.2.1. <i>Contexte géologique</i>	16
2.2.2. <i>Contexte hydrique</i>	17
2.2.3. <i>Zonage environnemental</i>	17
2.3. Contexte historique	17
2.4. Activités industrielles et de service	20
3. Méthodologies développées	23
3.1. INVENTAIRE HISTORIQUE URBAIN	23
3.1.1. <i>Spécificités de l'IHU de l'île de Nantes</i>	23
Cadrage	24
Sources documentaires consultées	25
3.1.2. <i>Gestion des données</i>	26
Nature des données collectées.....	26
Traitement et gestion des données.....	26
3.1.3. <i>Développements méthodologiques</i>	26
Gestion des variations spatio-temporelles d'emprises géographiques des sites.....	26
Polluants potentiels associés aux sources de pollutions potentielles et aux sites recensés	27
Synthèse des polluants associés.....	28
3.2. CARACTERISATION DES SOLS ET PROCHE SOUS-SOL DE L'ILE DE NANTES.....	29
3.2.1. <i>Spécificités</i>	30

Sources et nature des données collectées.....	30
3.2.2. <i>Développements méthodologiques</i>	30
Gestion des données.....	30
Typologie des remblais et modèle 3D.....	32
Détermination des fonds géochimiques.....	34
4. Résultats de l'IHU.....	41
4.1. REPARTITION SPATIALE ET TEMPORELLE DES ACTIVITES INDUSTRIELLES ET DE SERVICE.....	41
4.2. NOTES HISTORIQUES.....	43
4.3. UTILISATION POSSIBLE DES DONNEES DE L'IHU.....	43
4.3.1. <i>Produits livrés à la Samoa</i>	43
4.3.2. <i>Mode d'interrogation principal : nature et répartition des sources potentielles de polluants</i>	44
4.3.3. <i>Apport historiographique</i>	46
4.4. COMPARAISON DES POLLUTIONS POTENTIELLES ET AVEREES.....	48
5. Qualité des sols et proches sous-sols.....	51
5.1. MODELE 3D.....	51
5.2. FONDS GEOCHIMIQUES.....	54
5.2.1. <i>Fond géochimique naturel</i>	55
5.2.2. <i>Fond géochimique anthropisé</i>	55
5.2.3. <i>Limites et axes de réflexions</i>	56
5.3. SEUILS D'ANOMALIE PAR TYPE DE TERRAIN.....	57
5.4. PROPOSITION DE SEUILS DE COMPATIBILITE DE FOND GEOCHIMIQUE ANTHROPISE.....	59
5.5. ANALYSE DES SEUILS ISDI.....	63
5.6. COMPATIBILITE ET VOLUMES PREVISIONNELS DANS LES PRINCIPAUX SECTEURS D'AMENAGEMENT.....	65
6. Conclusion.....	71
7. Bibliographie.....	73

Liste des illustrations

Illustration 1 – Présentation du territoire de l'île de Nantes (source Orthophotographie aérienne 2012 - Loire-Atlantique)	15
Illustration 2 – Extrait de la carte géologique harmonisée de la Loire-Atlantique à 1/50 000 (Béchenec et al., 2008)	16
Illustration 3 – Plan de la ville de Nantes -François Cacaot, 1756-57. Archives Municipales de Nantes (Réf : II157/6).....	18
Illustration 4 - Plan de la ville de Nantes, 1956. Archives Municipales de Nantes (Réf : 1Fi2618)	19
Illustration 5 – Sites BASIAS initialement recensés sur l'île de Nantes (recensement IHR réalisé entre 1994 et 1997)(d'après BASIAS)	20
Illustration 6 – Part des sites BASIAS de l'île de Nantes par rapport aux sites recensés sur la ville de Nantes lors de l'IHR (Inventaire Historique Régional)	21
Illustration 7 – Schéma de la méthodologie de réalisation de l'IHU de l'île de Nantes AD : archives départementales ; Réf. : référence).....	24
Illustration 8 – Schéma de principe de la création d'un puzzle permettant la gestion des variations spatio-temporelles d'emprises géographique et les liens avec les sites Basias. Chaque polygone est rattaché à une année et à un site Basias.	27
Illustration 9 : Organisation de la BD-SIG mise en place pour le traitement et l'exploitation des données de sondage et d'analyses.....	31
Illustration 10 : Localisation des sondages intégrés à la BD-SIG	31
Illustration 11 : Méthode de rattachement de la typologie des terrains (T) aux classes de matériaux (C) définies pour la modélisation géologique.....	33
Illustration 12 : Localisation des points de prélèvements par comparaison avec les impacts de bombe recensés	35
Illustration 13 : Principe d'échantillonnage sur profils de sols composites	36
Illustration 14 : Description des profils de sols.....	37
Illustration 15 : Evolution des sites localisés recensés dans Basias	41
Illustration 16 : Répartition spatiale des emprises des activités industrielles et de service potentiellement polluantes recensées sur l'île de Nantes	42
Illustration 17 : Sources de pollutions potentielles associées aux activités industrielles et de services potentiellement polluantes recensées sur l'île de Nantes	42
Illustration 18 : Produits livrés à la SAMOA dans le cadre de l'IHU Ile de Nantes	44
Illustration 19 : Degré de potentialité aux hydrocarbures lié aux sources potentielles de pollutions localisés au sein des sites industriels et activités de service recensés.....	45
Illustration 20 : Degré de potentialité au plomb (Pb) lié aux sources potentielles de pollutions localisés au sein des sites industriels et activités de service recensés.....	45
Illustration 21 : Évolution des emprises de sites ayant accueilli des activités industrielles ou de services potentiellement polluantes de 1850 à 2008.....	47
Illustration 22 : Cartographie des dépôts de liquide inflammables sur l'île de Nantes, corrélés aux résultats d'analyses de teneurs en hydrocarbures issus de sondages. La	

localisation de l'emplacement historique d'une installation ne préjuge pas de sa présence actuelle.....	49
Illustration 23 : Synthèse des corrélations entre pollution avérée du proche sous-sol et pollution potentielle aux hydrocarbures liée aux activités industrielles et de service.....	49
Illustration 24 : Comparaison entre l'indice de potentialité au Pb et les teneurs analysées dans les sols et proches sous-sol de l'île de Nantes	50
Illustration 25 : Mise en relation des teneurs en Pb analysées dans le proche sous-sol de l'île de Nantes avec la présence de remblais suspects, intrinsèquement potentiellement pollués (présence de mâchefers indiquée d'après les descriptions de sondage).....	50
Illustration 26 : Evolution des comblements de Loire à l'échelle de l'île de Nantes, élaborée par interprétation de 15 cartes anciennes	51
Illustration 27 : Modèle 3D obtenu suite à l'interprétation des sondages.....	52
Illustration 28 : Représentation en 2D de l'extension des différents types de remblais et des alluvions en fonction de la profondeur	54
Illustration 29 : Schéma de principe de réutilisation des terres excavées sur l'île de Nantes sur la base des critères techniques (FGL : fond géochimique local). Les seuils de compatibilité géochimiques indiqués dans ce rapport nécessiteront d'être complétés en considérant également la compatibilité hydrique (cf ; Tab. 12) et sanitaire (cf. Phase 2).....	62
Illustration 30 : Distribution des teneurs en antimoine lixivié rapportées aux teneurs sur brut (échelle logarithmique)	64
Illustration 31 : Approche simplifiée de la compatibilité géochimique des terres analysées avec les seuils définis pour les remblais assimilés naturels (seuil 2) et les remblais divers (seuil 3).....	66
Illustration 32 : Approche simplifiée de l'acceptabilité des terres analysées dans les différentes installations de stockage de déchets (ISD) : ISDI : Installation de stockage de déchets inertes, ISNDN : installation de stockage pour déchets non dangereux, ISDD : installation de stockage pour déchets dangereux, Hors catégorie : à inertier pour ISDD	68

Liste des tableaux

Tableau 1 : Activités prises en compte dans le cadre de l'IHU Ile de Nantes en fonction du groupe SEI (service de l'environnement industriel du ministère) (hors activités intéressant l'Andra).....	25
Tableau 2 : Liste des indices polluants considérés (familles entourées)	28
Tableau 3 : Détail du programme analytique	37
Tableau 4 : Proportion de type de matériaux à l'échelle de l'île de Nantes pour différentes profondeurs.....	54
Tableau 5 : 90 ^{ème} percentile par paramètre analysé dans les 19 échantillons d'alluvions peu ou pas anthropisés de la pointe est de l'île de Nantes et de l'île Héron (valeurs en mg/kg MS). En italique non gras, teneurs correspondant aux limites de quantification.....	55

Tableau 6 : 90 ^{ème} percentiles (D90) obtenus à partir des données représentatives de contaminations anthropiques diffuses (et de présence naturelle) par paramètre analysé et par type de remblai défini sur l'île de Nantes (T4 : douteux, T3 : divers, T2 : assimilés naturels) et pour les alluvions (T1) (valeurs en mg/kg MS). En italique, valeurs inférieures à la limite de quantification	55
Tableau 7 : Comparaison des 90 ^{ème} percentiles (D90) obtenus pour les alluvions prélevés à la pointe Est de l'île de Nantes et sur l'île Héron avec ceux des alluvions prélevés dans les diagnostics de pollution (valeurs en mg/kg MS).	56
Tableau 8 : D90 et vibrisses supérieures (mg/kg MS) calculés par typologie de matériau susceptible d'être excavé pour les métaux et métalloïdes analysés sur la fraction solide (en italique, valeur correspondant à la limite de quantification, en rouge valeurs ayant suscité des discussions, en gras valeurs retenues pour définir les seuils de compatibilité géochimique).....	58
Tableau 9 : D90 et vibrisses supérieures (mg/kg MS) calculés par typologie de matériau susceptible d'être excavé pour les paramètres organiques analysés sur la fraction solide (en italique, valeur correspondant à la limite de quantification, en rouge valeurs ayant suscité des discussions, en gras valeurs retenues pour définir les seuils de compatibilité géochimique)	58
Tableau 10 : Seuils de compatibilité géochimique proposés pour une sélection de métaux et métalloïdes sur l'île de Nantes (en rouge, valeurs supérieures à certains seuils de référence ou posant question, en italique valeurs correspondant à des limites de quantification, en gras valeurs évoluant par rapport aux autres seuils)	60
Tableau 11 : Seuils de compatibilité géochimique proposés pour une sélection de paramètres organiques sur l'île de Nantes (en rouge, valeurs supérieures à certains seuils de référence ou posant question, en italique valeurs correspondant à des limites de quantification, en gras valeurs évoluant par rapport aux autres seuils)	60
Tableau 12 : Seuils Hydrotex calculés et comparaison avec seuils ISDI constatés sur le jeu de données disponibles et les valeurs maximales observées (*cf. Arrêté du 12 décembre 2014)	62
Tableau 13 : Synthèse des paramètres déclassant à eux seuls l'échantillon vs seuils ISDI, dans l'ensemble du jeu de données d'analyses disponible (incluant les pollutions ponctuelles)	63
Tableau 14 : Volumes de terre (m ³) compatibles avec les seuils de compatibilité géochimique définis pour les remblais assimilés naturels (seuil 2) et les remblais divers (seuil 3), dans le sud-ouest de l'île de Nantes, calculés sous GDM par la méthode de Thyssen (cf. carte).	67
Tableau 15 : Volumes acceptables en ISD dans l'emprise du CHU et dans l'enveloppe plus large du sud-ouest de l'île de Nantes, calculés sous GDM par la méthode de Thyssen (cf. carte). ISDI : Installation de stockage de déchets inertes, ISNDN : installation de stockage pour déchets non dangereux, ISDD : installation de stockage pour déchets dangereux, Hors champ : à inerte pour ISDD.....	69

Liste des annexes

Annexe 1 Liste initiale (IHR) des 94 sites BASIAS de l'île de Nantes	77
Annexe 2 Liste actualisée (IHU) des 199 sites BASIAS de l'île de Nantes	81

Annexe 3 Exemple de fiche BASIAS actualisée	89
Annexe 4 Note technique pour le suivi lithologique et analytique des sondages.....	95
Annexe 5 Photos de remblais caractéristiques de l'île de Nantes	103
Annexe 6 Méthodologie de détermination de seuils d'anomalie de fond géochimique naturel et anthropisé local, spécifiques à l'île de Nantes	109
Annexe 7 Distribution des résultats de caractérisation selon le pack ISDI en fonction des typologies de matériaux définies, pour une sélection de paramètres	121

1. Introduction

1.1. CONTEXTE

Face à l'augmentation de la population urbaine, différents espaces et friches sont reconvertis en vue de limiter l'étalement du milieu urbain, et de ce fait le grignotage des terres agricoles. Toutefois, les friches urbaines présentent fréquemment des problèmes de pollution de sols liés aux activités industrielles et de service passées, mais aussi à la qualité des remblais en place. Outre les problèmes de pollution à gérer pour assurer la compatibilité avec les usages futurs des sols, les aménagements conduisent à des exports de terres excavées de différentes qualités. La publication du guide de gestion des terres excavées (Blanc et *al.*, 2012) permet d'envisager de nouvelles filières de gestions de ces terres.

L'île de Nantes fait l'objet d'un programme de réaménagement ambitieux, qui s'étale sur 30 ans. Lors des aménagements, la question de la gestion des terres excavées sur site et/ou hors site se pose systématiquement. Consciente des économies importantes envisageables sur la gestion des terres excavées, et des enjeux environnementaux et socio-économiques associés, la SAMOA⁴ a pour ambition d'améliorer ses pratiques. Face à l'absence de méthodologies de détermination de seuils de compatibilité géochimique applicables pour la gestion des terres excavées à l'échelle de son projet d'aménagement urbain, elle s'est associée au BRGM dans le cadre d'un partenariat de Recherche et Développement (R&D) dès août 2013. En effet, la SAMOA et les opérateurs-constructeurs de l'île pratiquent déjà une méthodologie de valorisation et de gestion des terres excavées à la parcelle, fondée sur l'optimisation sur site. Cette pratique contrainte à l'unité foncière pourrait s'étendre à l'échelle de la ZAC.

L'objectif de ce partenariat était de développer les méthodologies et connaissances nécessaires pour anticiper les problématiques liées aux contaminations des sols et permettre d'optimiser la gestion des terres excavées à l'échelle de l'île. Le ministère en charge de l'écologie a soutenu cette démarche commune, car elle permettait de tester certains aspects du guide national et de développer une méthodologie à l'échelle d'un grand quartier.

Le partenariat s'est organisé en 2 phases. La première phase, objet de ce rapport, vise à développer les méthodologies nécessaires à l'acquisition des connaissances préliminaires sur la qualité environnementale des sols et du sous-sol et à réaliser une première exploitation des connaissances acquises. La deuxième phase visait initialement, sur la base des connaissances acquises, à évaluer l'intérêt et la faisabilité de mettre en place une plateforme de gestion des terres excavées sur l'île de Nantes. Le présent rapport décrit les méthodologies et résultats obtenus au cours de la première phase.

⁴ Société d'Aménagement de la Métropole Ouest Atlantique.

1.2. OBJECTIFS

Avec pour objectif général de développer les méthodologies nécessaires à l'acquisition des connaissances préliminaires sur la qualité environnementale des sols et du sous-sol, cette phase 1 du projet a pour objets plus précis :

- de localiser l'emprise des activités industrielles et de service et les sources de pollution potentiellement associées, tout en tenant compte des études et des aménagements réalisés (diagnostics, dépollution, gestion des terres excavées),
- de caractériser les sols et le proche sous-sol de l'île de Nantes (structure, nature et origine de matériaux, fond géochimique naturel ou anthropisé spécifique à l'île de Nantes),
- d'évaluer les volumes de terres à excaver potentiellement générées par les opérations d'aménagement à venir, qui pourraient être admises en ISDI en l'absence de filière de valorisation, et de vérifier qu'elles répondent bien aux critères d'acceptation.

1.3. SUIVI

Le pilotage et la coordination de l'opération ont été assurés par un comité de pilotage, composé de représentants des financeurs du projet (SAMOA, BRGM et ADEME). Il s'est réuni plusieurs fois durant le projet. Il a eu un rôle décisionnaire concernant le contenu technique de l'étude et la communication des résultats et documents.

Un comité de suivi technique a été mis en place également, son rôle étant consultatif, il était constitué de participants proposés par la SAMOA en accord avec le BRGM. Il s'est réuni plusieurs fois pour être informé de la démarche et de son avancement, et être consulté sur celle-ci et notamment sur les différentes sources d'informations envisageables et sur les données recueillies.

2. Description de l'île de Nantes

2.1. Contexte géographique et économique

L'île de Nantes est une île de Loire longue de 4,9 km de l'amont vers l'aval et large de 1 km au maximum (Illustration 1). D'une superficie de 337 hectares, elle est située au sud de la commune de Nantes. Le centre-ville de Nantes, au nord, est séparé de l'île par le bras de la Madeleine. Au sud de l'île, sur l'autre rive du bras de Pirmil se trouvent notamment les communes de Rezé à l'ouest et Saint-Sébastien-sur-Loire à l'est.

L'île de Nantes comptait en 2011, 18 000 habitants (environ 6 % de la population nantaise), près de 10 000 logements, dont 22 % de logements sociaux, 22 000 emplois salariés, 1 400 établissements dans le secteur marchand, dont 70 ayant une activité industrielle et 334 ayant une activité de commerce (AURAN, 2012).

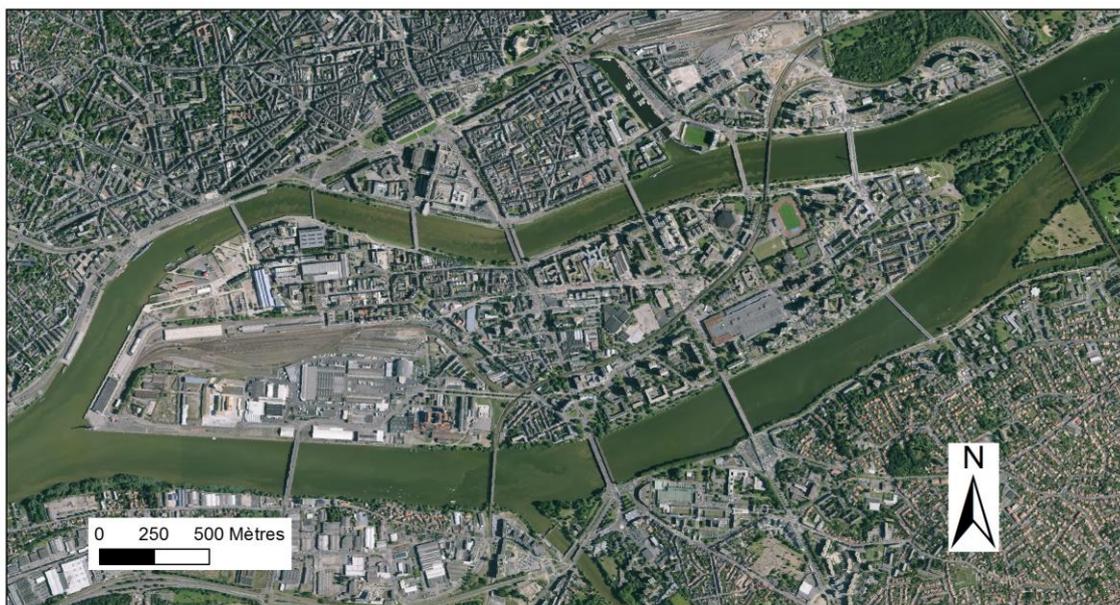


Illustration 1 – Présentation du territoire de l'île de Nantes (source Orthophotographie aérienne 2012 - Loire-Atlantique)

2.2. Contexte naturel et environnemental

2.2.1. Contexte géologique

L'île de Nantes, se situe sur la bordure orientale du "Sillon de Bretagne", massif de roches très dures qui s'étend de Montaigu à la Pointe du Raz (Le Guern et *al.*, 2001). D'après la carte géologique à 1/50 000^e (Nantes n° 481)(Illustration 2), elle repose principalement sur des micaschistes et des gneiss. La Loire traverse ces roches dures en les entaillant, formant une vallée relativement étroite (2 km au droit de Nantes). La configuration actuelle résulte d'épisodes alternés de creusement et de remblaiement qui se sont succédés depuis plusieurs centaines de milliers d'années jusqu'à l'époque actuelle. Le remplissage alluvial s'est effectué lors de la remontée du niveau marin, très active depuis 20 000 ans, masquant chenaux et îles façonnées par le fleuve lors de l'épisode de creusement. Les alluvions sont donc présentes avec des épaisseurs très variables, qui peuvent aller dans la zone étudiée, de quelques mètres à environ 30 mètres.

Du 18^{ème} siècle au milieu du 20^{ème} siècle, les hommes ont réunifié l'archipel composé initialement de 6 îles par une série de travaux d'endiguement, de comblement, de remblaiement et d'exhaussement. La présence de remblai est telle que la carte géologique considère toute l'île comme recouverte par ces dépôts anthropiques.

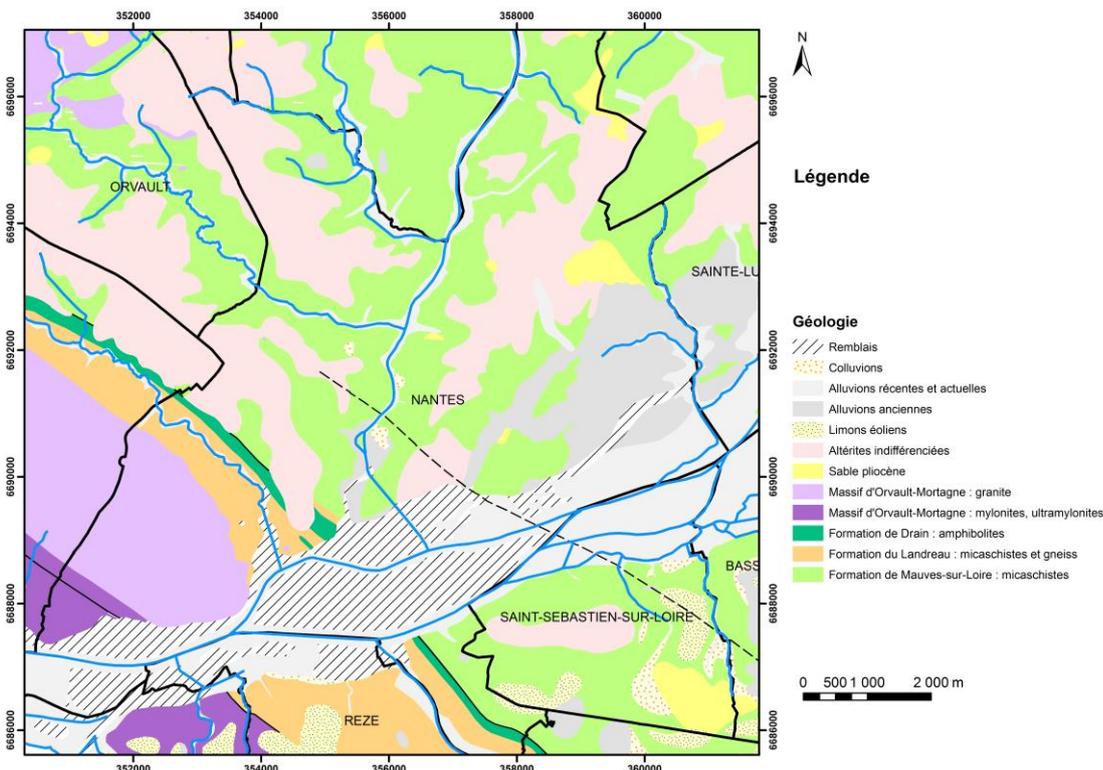


Illustration 2 – Extrait de la carte géologique harmonisée de la Loire-Atlantique à 1/50 000 (Béchenec et al., 2008)

2.2.2. Contexte hydrique

L'Île de Nantes se situe à la limite de la Loire continentale et estuarienne. Ainsi, si le bouchon vaseux ne remonte pas jusqu'à l'Île, l'onde de marée remonte largement en amont de l'Île de Nantes. Bien qu'initialement en zone inondable, et potentiellement soumise simultanément aux crues de la Loire et à des niveaux marins extrêmes, l'Île de Nantes n'est actuellement pas considérée comme inondable (<http://www.georisques.gouv.fr>). L'altitude locale relativement élevée (6 à 13 m NGF d'après le Scan25 de l'IGN) peut être expliquée par d'importantes épaisseurs de remblais présents sur l'Île.

Les alluvions contiennent une nappe alluviale connectée à la Loire. La perméabilité des terrains sus-jacents (alluvions sableuses très présentes, remblais) confère à la nappe une vulnérabilité aux pollutions de surface. Toutefois, en l'absence d'usage sensible de l'eau souterraine recensé, les enjeux sur les eaux souterraines apparaissent limités au droit de l'Île.

2.2.3. Zonage environnemental

L'Île de Nantes se situe au centre du site Natura 2000 de la "Vallée de la Loire de Nantes aux Ponts de Cé" et de la Znieff18 de la vallée de la Loire (www.inpn.mnhn.fr).

2.3. Contexte historique

Jusqu'à la moitié du XX^{ème} siècle l'Île de Nantes n'existait pas comme entité unique (Illustration 3). Elle était formée d'un ensemble d'îlots séparés par des ramifications de la Loire, dites « boires ». Au XVII^{ème} siècle une seule route, ou mieux une ligne de ponts, traversait l'ensemble des îles en reliant la rive droite du fleuve, où est situé le cœur historique de la ville, au faubourg de Pirmil sur la rive gauche. À cette époque des rares constructions, le Couvent des Récollets, La Chapelle de Toussaint, des vergers et des potagers sont concentrés le long de cet axe nord-sud, tandis que les autres îlots sont des prairies, souvent sujettes aux inondations et caractérisées par des rivages changeants.

Aux 19^e et 20^e siècles, le faubourg se densifie, les activités industrielles et portuaires se développent de l'aval vers l'amont, facilité en cela par la réunification progressive des îlots en un seul ensemble. Les dernières prairies inondables de la partie amont ont disparu dans les années 1960 sous plusieurs mètres de remblais de sable, avant l'édification de grands ensembles de logements, de bureaux, de commerces et d'équipements de loisirs.



Illustration 3 – Plan de la ville de Nantes -François Cacaot, 1756-57. Archives Municipales de Nantes (Réf : II157/6)

La toponymie des lieux est liée à ces origines : île Beaulieu, île de Ste Anne, île Belagué, île Le Marle, île Videment, Prairie au Duc, Prairie du Bois-Joly, Prairie d'Aval, Prairie d'Amont, Prairie de Biesse, sont parmi les toponymes utilisés pour indiquer ces lieux et dont on garde traces dans les noms actuels des rues (Pied, 1906). Au cours du XIX^{ème} et XX^{ème} siècle l'axe nord-sud a servi à la fois de catalyseur pour le développement urbain, en faisant de la partie centrale de l'île son centre historique, et une ligne de démarcation entre le côté ouest, progressivement urbanisé et industrialisé, et la partie est, restée presque intouchée jusqu'à la deuxième moitié du XX^{ème} siècle (Illustration 4).

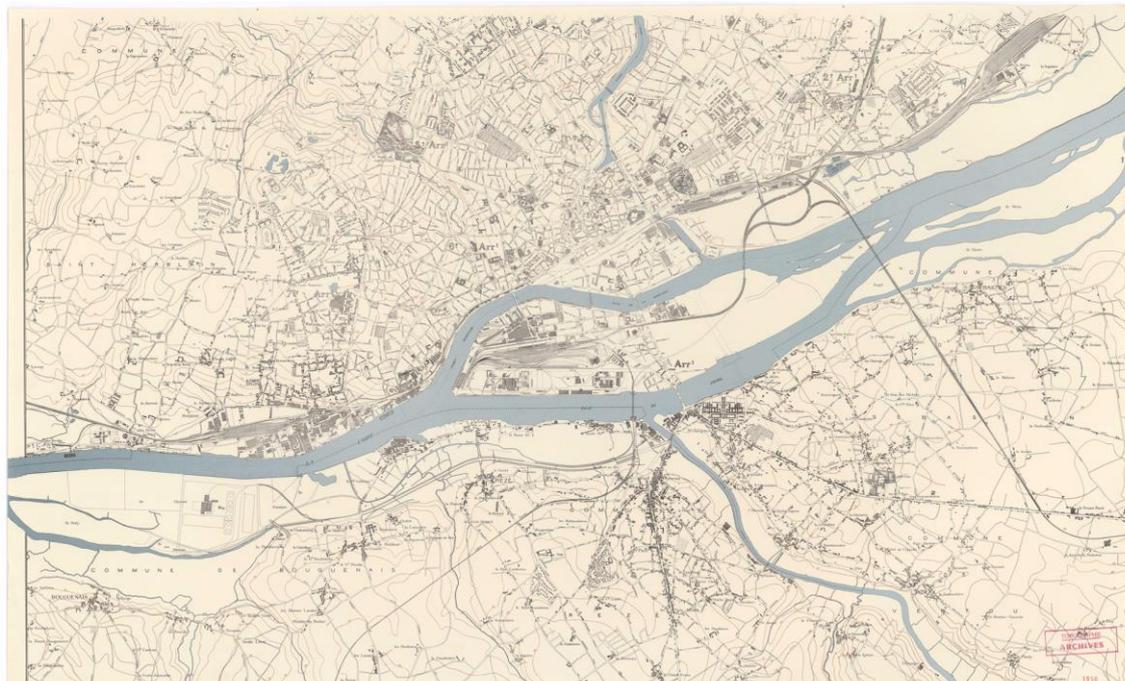


Illustration 4 - Plan de la ville de Nantes, 1956. Archives Municipales de Nantes (Réf : 1Fi2618)

Malgré la forte impulsion donnée à ces lieux par le développement industriel depuis 1850, l'île Beaulieu (nom souvent utilisé par les Nantais pour indiquer l'ensemble des îles) reste pendant un siècle et demi en marge. Cette marginalité permet l'installation des activités nuisibles et dangereuses qui ne sont pas admises en ville. Par vagues, on assiste au développement de raffineries de sucre, de teintureries, de fabriques d'engrais et stockage de charbon, de la métallurgie, des constructions navales. C'est seulement à la fin du XXème siècle que la ville redécouvre la valeur, entre autre foncière, de ces lieux en concomitance avec la progressive cessation des activités industrielles et notamment la fermeture des chantiers navals en 1987. C'est à ce moment que la volonté de conserver l'identité fluviale, industrielle et maritime de l'île s'impose dans la réflexion municipale. L'espace qui se libère doit être réinventé sans en effacer la mémoire : l'héritage industriel, comme le rapport à la Loire, font partie de l'histoire des nantais et du paysage urbain. La conservation de la mémoire des lieux est vitale pour ne pas créer une déchirure entre les habitants et leur territoire (<http://www.iledenantes.com/>).

La réhabilitation de la Gare de l'État, et des nefs des Chantiers Navals au début des années 90 sont les premiers pas dans cette direction. En décembre 1999, les équipes d'architectes et paysagistes menées par A. Chemetoff et J. L. Berthomieu sont chargées par la municipalité de dessiner les grandes lignes de transformation de l'île de Nantes. La construction de nouveaux bâtiments publics (Palais de Justice, architecte J. Nouvel, 2000), la création d'espaces publics (les Esplanades) et les importants évènements culturels installés dans des usines désaffectées sont les premiers résultats de cette démarche. À côté de l'impulsion culturelle, l'intérêt foncier est forcément moteur du projet, avec une sensibilité particulière vers un modèle de

mixité sociale et une qualité de vie associant habitat, activités économiques et culturelles. En premier plan ce sont des sujets de forte actualité, comme le développement durable et l'économie d'énergie qui sont pris en compte pour la reconquête de cet espace. L'ensemble de l'opération représente environ 1 million de m² constructibles, 7000 logements supplémentaires, 300 000 m² d'activités économiques et 150 000 m² d'équipements (Samoa, 2016). L'exploitation des friches de l'île, qui est proche du centre historique, représente aussi une alternative à l'expansion de la banlieue au détriment des espaces verts et des terres agricoles.

2.4. Activités industrielles et de service

Du fait de son développement portuaire et industriel, l'île de Nantes présente de nombreux sites industriels et activités de service anciens. D'après le recensement BASIAS de l'IHR préexistant (Illustration 5 et Illustration 6) de 1999, l'île de Nantes compte 94 sites (vs 780 sites recensés sur la ville de Nantes).

Une concentration importante d'anciens sites apparaît dans l'ouest de l'île, dans la zone portuaire (Illustration 5). Parmi les activités recensées dans BASIAS et correspondant à la période 1870-1997, figurent de nombreuses stations-services, particulièrement développées dans les années 1970, ainsi que de nombreux dépôts de liquide inflammables (DLI), mais aussi toutes les activités de travail des métaux et du bois liées à l'activité portuaire. Parmi les activités recensées figurent également la fabrication, l'utilisation et le stockage d'amiante et de produits amiantés (fibrociment), l'industrie chimique avec notamment la fabrication d'engrais, et le traitement de déchets.

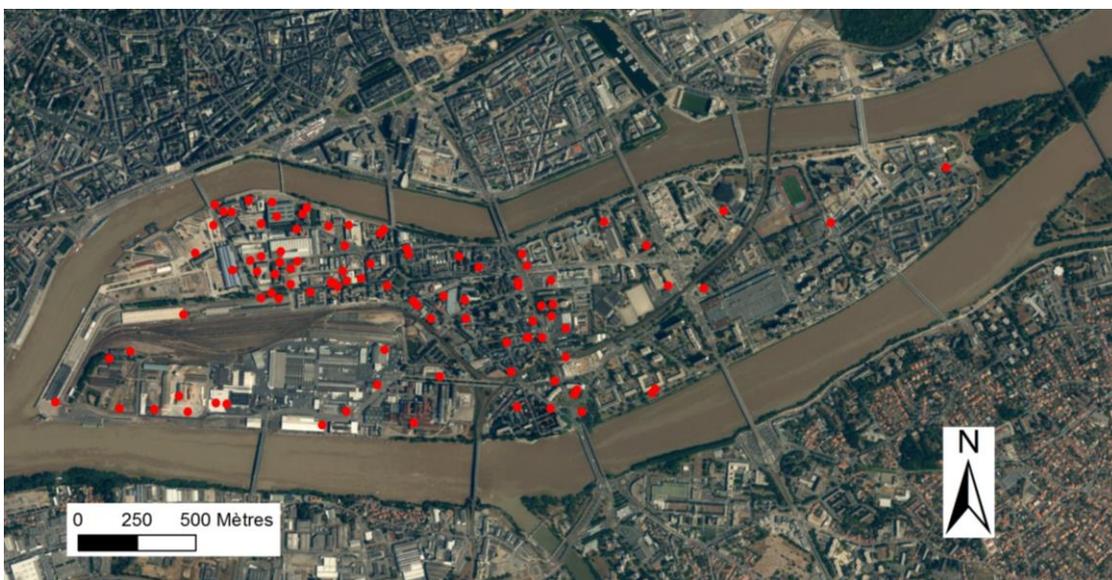


Illustration 5 – Sites BASIAS initialement recensés sur l'île de Nantes (recensement IHR réalisé entre 1994 et 1997)(d'après BASIAS)

Nombre de sites de l'IHR préexistant	Nantes	Ile de Nantes
Activité terminée	583	71
Ne sait pas	11	22
En activité	186	1
Total	780	94

Illustration 6 – Part des sites BASIAS de l'île de Nantes par rapport aux sites recensés sur la ville de Nantes lors de l'IHR (Inventaire Historique Régional)

3. Méthodologies développées

Compte-tenu des différences importantes de méthodologie à développer pour caractériser la structure et la qualité des sols de l'île de Nantes d'une part, et pour cartographier l'emprise des activités industrielles et de service et les sources de pollution potentiellement associées d'autre part, ces 2 volets sont présentés de manière distincte.

3.1. INVENTAIRE HISTORIQUE URBAIN

L'Inventaire Historique Urbain (IHU) a pour objectif de cartographier l'emprise des sites industriels et activités de service, les sources de pollutions potentielles et les polluants associés. En particulier, il s'agit de fournir des couches d'informations géographiques géoréférencées à l'échelle cadastrale facilement consultables et pouvant servir d'outil d'aide à la décision. En s'appuyant sur l'actualisation et le traitement géographique des données et informations relatives aux sites industriels et activités de service, cette démarche permet également d'actualiser la base nationale BASIAS.

La méthodologie développée dans le cadre de l'IHU Carene, disponible dans le rapport de projet (Le Guern et al, 2012), a été reprise et complétée par de nouveaux développements. Elle est synthétisée dans l'illustration 7. Les spécificités de cet IHU et les développements méthodologiques associés sont précisés ci-après.

3.1.1. *Spécificités de l'IHU de l'île de Nantes*

L'IHU de l'île de Nantes présente des spécificités en termes de cadrage et de sources documentaires consultées.

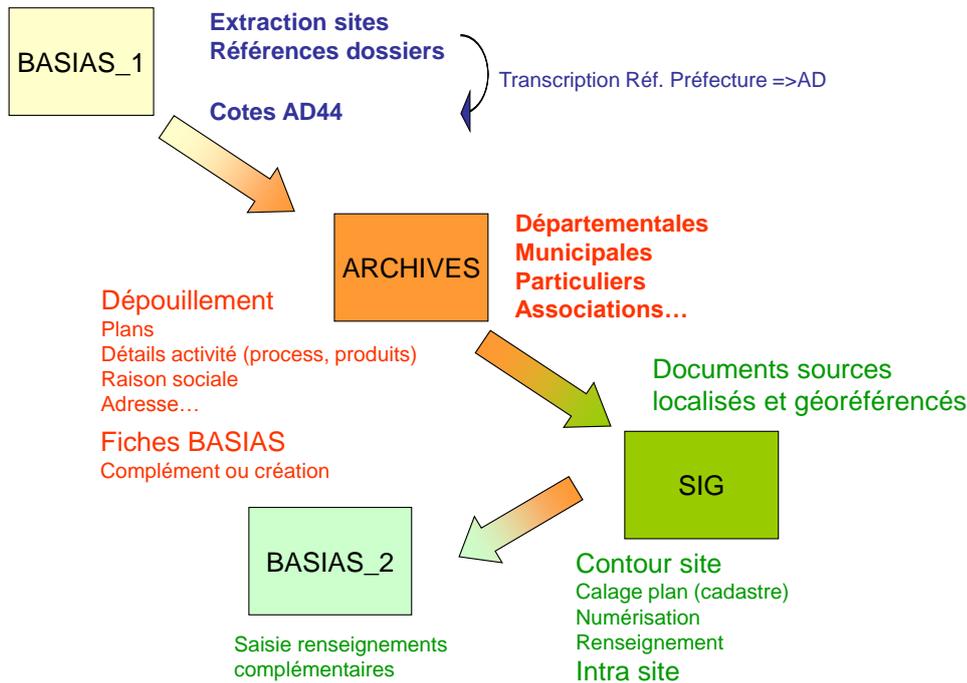


Illustration 7 – Schéma de la méthodologie de réalisation de l'IHU de l'île de Nantes
AD : archives départementales ; Réf. : référence)

Cadrage

Le cadrage de l'IHU, issu du comité de pilotage de démarrage du projet, a conduit à retenir la période allant de 1850 à 2014 pour l'inventaire. Pour mémoire, la période couverte par l'IHR de Loire-Atlantique (Bouroullec *et al.*, 1999) est 1870 à 1997.

Les activités prises en compte dans le cadre de l'IHU (Tableau 1) figurent parmi celles retenues lors de l'IHR de Loire-Atlantique (Bouroullec *et al.*, 1999). Quelques ajustements ont été néanmoins réalisés. Sont ainsi retenus dans l'IHU tous les ateliers d'entretien ou maintenance (dont garages), quelle que soit leur superficie, les dépôts de liquides inflammables supérieurs à 10 m³, même s'ils ne sont pas rattachés à une station-service ainsi que les activités intéressant l'Andra (dont les activités ayant manipulé des substances radioactives).

Activités du 1er groupe défini par le SEI	<ul style="list-style-type: none"> - anciennes décharges ou dépôts ou installations de recyclage, de récupération et d'élimination de déchets industriels ; - productions et/ou stockages (associés ou non associés à l'activité de production) des industries de la chimie, de la carbochimie, de la pharmacie et la parapharmacie, des phytosanitaires, des pesticides, de l'extraction et du raffinage du pétrole, de la gazéification, la cokéfaction et la transformation de la houille ; - dépôts d'hydrocarbures (DLI > ou = à 10 m³) et stations-services (>10 m³).
--	--

	<p>Dans l'IHU, les DLI $<$ ou $=$ à 10 m³ ont également été pris en compte, sans pour autant avoir fait l'objet d'une recherche systématique ;</p> <ul style="list-style-type: none"> - industries de la métallurgie et fonderie de métaux non-ferreux, de la sidérurgie primaire des métaux ferreux et du traitement de surface ; - activités d'ennoblissement textile, de tanneries et de traitement du bois ; - imprimeries et papeteries.
- Activités du 2ème groupe	<ul style="list-style-type: none"> - centrales thermiques (charbon, fuel) ; - sidérurgie secondaire des métaux ferreux, transformation de l'acier, industries mécaniques et ateliers d'entretien ou de maintenance (sans critère de surface pour l'IHU, contrairement à l'IHR qui ne retenait que les surfaces $>$ ou $=$ 400 m²).

Tableau 1 : Activités prises en compte dans le cadre de l'IHU Ile de Nantes en fonction du groupe SEI (service de l'environnement industriel du ministère) (hors activités intéressant l'Andra).

Les activités non retenues dans l'IHU correspondent à des activités non retenues dans l'IHR, comme l'agro-alimentaire et les activités relevant du 3ème groupe SEI (service de l'environnement industriel du ministère).

Sources documentaires consultées

Les principales sources documentaires consultées sont les suivantes :

- Des études historiques et documentaires récentes de sites en lien avec le réaménagement de l'île, archivées à la SAMOA, ainsi que l'étude réalisée par le BRGM en 2001 sur la pointe Ouest de l'île de Nantes ;
- Les archives départementales et plus particulièrement la série 5M des archives modernes (1800-1940), ainsi que la série W des archives contemporaines (post 1940). Dans la série W ont été sélectionnés plus particulièrement les dossiers d'installations classées (ICPE) et les dossiers commodo incommodo (équivalent plus ancien des ICPE), ainsi que les archives de guerre. Cette phase de dépouillement a eu lieu d'octobre 2013 au printemps 2014. L'accès aux archives récentes a été facilité par la dérogation nationale dont bénéficie le BRGM dans le cadre de ses activités de recensement des sites industriels et activités de service ;
- Les dossiers d'installations classées en cours (site Internet : installationsclassées.gouv.fr et DREAL). La consultation en DREAL des archives et dossiers en cours a eu lieu au printemps 2014.

Pour compléter les informations recueillies, un ensemble de sources complémentaires ont été consultées, et en particulier :

- Les données de l'inventaire du patrimoine bâti industriel mené par le service du Patrimoine du Conseil Régional (en cours pendant le projet) ;
- Les données sur les produits stockés et accidents industriels stockés dans les archives de la Cellule Opérationnelle et de Prévention des Risques (COPR) de Nantes Métropole (inventaire de 1997) ;

- Les archives municipales (cartes anciennes, permis de construire,...). Elles ont été consultées au fil de l'eau en parallèle des autres dépouillements.

3.1.2. Gestion des données

Nature des données collectées

Les données collectées sont principalement des plans de situation et des plans de masse, permettant d'appréhender l'extension du site et de localiser les activités potentiellement polluantes. Les informations sur les produits utilisés, les procédés, les accidents et les plaintes ont été collectées dès qu'elles ont été trouvées dans les dossiers.

Des plans anciens ont également été recueillis pour aider à la localisation des sites anciens. L'urbanisme de l'île de Nantes a en effet complètement changé au fil du temps.

Traitement et gestion des données

Les données collectées, numérisées sous forme de scan ou photo, ont été classées par source de données, mais aussi par site, afin de faciliter leur traitement.

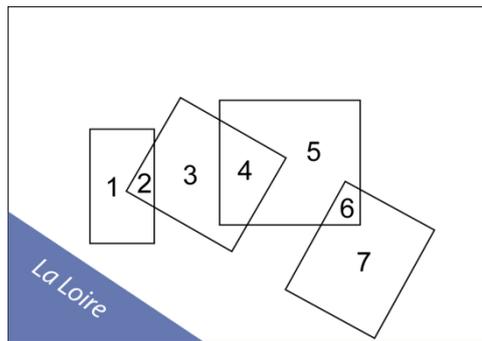
Access 2010 a servi de support pour la gestion des données numériques, et ArcGis10.0 pour la gestion des données spatiales.

3.1.3. Développements méthodologiques

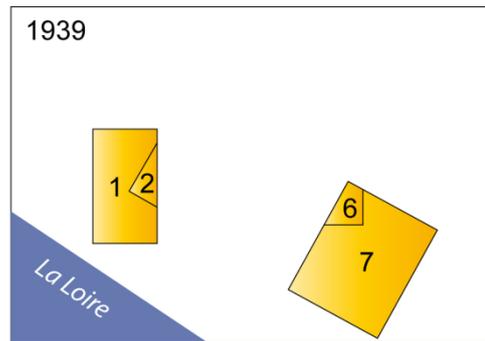
Plusieurs développements méthodologiques ont été réalisés dans le cadre de l'IHU de l'île de Nantes. Ils concernent plus particulièrement l'intégration des variations spatio-temporelles des emprises des sites et activités potentiellement polluantes, l'identification des polluants potentiels, ainsi que la synthèse des polluants associés.

Gestion des variations spatio-temporelles d'emprises géographiques des sites

Le principe retenu pour la gestion des variations spatio-temporelles des emprises géographiques s'est appuyé sur la base du plus petit dénominateur commun spatial et temporel. Cela s'est concrétisé par la constitution d'un puzzle d'emprises, dont le principe est précisé dans l'illustration 8. Un ensemble de tables attributaires a été généré et renseigné pour gérer les informations associées et permettre d'interroger les données de différentes manières (emprise géographique, site Basias, période historique, type d'activité...).



Découpage des emprises en polygones selon le principe du « plus petit dénominateur commun »



Exemple de régénération de sites à partir des polygones découpés selon une requête « sites présents en 1939 »

Polygone	Année	ID_Basias
1	1939	ID1
2	1939	ID1
2	19XX	ID2
3 à 5	19XX	ID2 ou ID4
6	1939	ID3
6	19XX	ID4
7	1939	ID3

ID_Basias	Polygone
ID1	1+2
ID2	2+3+4
ID3	6+7
ID4	4+5+6

Illustration 8 – Schéma de principe de la création d'un puzzle permettant la gestion des variations spatio-temporelles d'emprises géographique et les liens avec les sites Basias. Chaque polygone est rattaché à une année et à un site Basias.

Polluants potentiels associés aux sources de pollutions potentielles et aux sites recensés

L'interprétation des sources de pollution potentielle en termes de polluants potentiels s'est appuyée sur :

- les tableaux de correspondance activité-polluant, issus d'une synthèse bibliographique réalisée en 1997, intégrés dans le guide méthodologique « Diagnostic du site » du 8 février 2007 (MEEDAT, 2007).
- La grille de correspondance activité-polluants alors en cours d'élaboration par le BRGM sur la base de retours d'expérience de plusieurs projets nationaux (Etablissements Sensibles, impact sur les eaux souterraines des installations classées et sites pollués, ...)
- Les produits, procédés et accidents (dont bombardements) recensés au cours de la période étudiée, pour tous les sites disposant d'informations suffisantes.

Un développement méthodologique a consisté à transposer les tableaux de correspondance activité-polluants sous forme de tables Access pour permettre d'automatiser le lien entre activité et familles de polluants potentiels. Dans ce cadre,

pour chaque intrasite⁵ ont été préalablement listés les codes NAF (nomenclature des activités françaises) représentant le mieux l'activité exercée à la période considérée.

Compte-tenu du nombre très important de substances polluantes, et des différences prises en compte dans les matrices activités-polluants utilisées, des indices polluants ont été créés pour simplifier l'approche. L'indice correspond à un groupe de substances ou paramètres usuellement recherché lors des campagnes d'analyses (hydrocarbures – cf. C10-C40, COHV, BTEX). Pour les inorganiques, moins nombreux, la liste des métaux/métalloïdes usuels a été considérée. Pour chaque indice, un degré de potentialité de présence de l'indice est calculé par croisement entre les indicateurs utilisés : polluant indiqué par la matrice activité polluants du guide « diagnostic de pollution » (2007), par la matrice activité polluants basée sur les retours d'expérience (BRGM, 2015), par l'interprétation de produits utilisés au sein des activités, par le recensement d'accidents et les modalités de gestion des accidents.

Inorganiques	Organiques
Composés minéraux chlorés Composés minéraux fluorés Composés minéraux soufrés Cyanures	Hydrocarbures BTEX HAP COHV
Antimoine Arsenic Baryum Cadmium Chrome Cuivre Mercure Nickel Plomb Sélénium Zinc	PCB Phénols Dioxines et Furanés

Tableau 2 : Liste des indices polluants considérés (familles entourées)

Synthèse des polluants associés

En complément des polluants potentiels issus de la localisation des (anciens) sites industriels et activités de service, il s'agissait de faire le point sur les polluants

⁵ Intrasite : contour d'activité (stockage, atelier, aire de distribution, ...) potentiellement source de pollution au sein d'un site (industrie ou activité de service)

constatés, et sur les pollutions résiduelles après traitement et/ou excavation et/ou apport de nouvelles terres.

Les données utilisées pour faire le point sur les polluants constatés sont celles collectées dans le volet caractérisation des sols et proches sous-sols. Les développements méthodologiques associés sont décrits dans le chapitre correspondant.

Pour faire le point sur les pollutions résiduelles, on s'est appuyé sur les DOE⁶. Le développement méthodologique visait à i) géolocaliser les analyses de pollution résiduelles et à ii) spatialiser les zones d'excavation, de remplacement de terre, ou autre traitement de la pollution. Les quelques documents transmis par la Samoa se sont avérés hétérogènes et pas toujours exploitables (par exemple, absence de localisation des échantillons prélevés pour analyser les pollutions résiduelles). Dans ces documents, 2 modes de représentations complémentaires des pollutions résiduelles semblent pertinents. Il s'agit du récapitulatif simple et chiffré des analyses effectuées, complété par la localisation des échantillons (carte, coordonnées géographiques x, y, z). Pour garder la mémoire des mouvements de terre, les documents d'ouvrage exécuté (DOE) devraient également contenir des cartes récapitulatives des zones de traitement de la pollution des sols, des zones d'excavations (avec profondeur associée), et/ou des zones d'apport de terres nouvelles (emprise horizontale et verticale, ainsi que résultats d'analyses).

3.2. CARACTERISATION DES SOLS ET PROCHE SOUS-SOL DE L'ILE DE NANTES

La caractérisation des sols et du proche sous-sol de l'île de Nantes doit permettre de répondre à trois objectifs :

- La définition de la nature et de l'origine des remblais présents sur l'île de Nantes ;
- L'élaboration des fonds géochimiques locaux, naturel ou anthropisé, des matériaux susceptibles d'être évacués (des sols et proche sous-sol de l'île de Nantes) (avant aménagement) ;
- L'évaluation du volume de terres à excaver pouvant être admis en ISDI, dont celles entrant dans le champ d'une demande de dérogation et la proposition d'une méthodologie de vérification de la qualité des remblais.

Ce chapitre présente les spécificités de ce volet pour l'île de Nantes, et les développements méthodologiques associés.

⁶ DOE : Document d'Ouvrage Exécuté

3.2.1. Spécificités

Sources et nature des données collectées

Pour rassembler le maximum d'informations existantes, plusieurs sources de données ont été consultées afin de recueillir des descriptions de sondages, des cartes anciennes, des données SIG actuelles ainsi que des analyses de terres.

La Banque de données du Sous-sol (BSS), gérée par le BRGM, a fourni 694 descriptions de sondage. Les rapports d'opérations pilotées par la SAMOA ou collectés par cette dernière auprès d'opérateurs privés ont permis de recueillir des descriptions de sondages issus d'essais géotechniques et de diagnostics de pollution, ainsi que des résultats d'analyses de sol issus de diagnostics de pollution. Les archives départementales et municipales, ainsi que le service archéologique de la Ville de Nantes ont permis de rassembler une collection de plans anciens. Un MNT au pas de 5 m, spécifique pour le projet, a été réalisé à partir de la base des relevés topographiques (cote des rues, trottoirs, sol ...), fournis par la SAMOA, complétés sur les zones non couvertes, par une simplification de la Litto3D (au pas de 5 m) collectée sur GEOPAL.

3.2.2. Développements méthodologiques

Pour atteindre ces objectifs, 3 défis méthodologiques ont été relevés. Ils sont relatifs à la typologie des remblais, à la gestion des données et à la détermination des fonds géochimiques.

Gestion des données

Les données collectées sont principalement des descriptions de sondage et des résultats d'analyses. Une structuration dédiée a été développée pour permettre d'organiser la variété des informations potentiellement exploitables, de pouvoir revenir à la source des données en cas de besoin, d'intégrer de nouvelles données, de suivre l'avancement de la saisie, et d'interroger les données saisies de nombreuses manières (secteur géographique, type de données, type d'étude...). Le résultat final (Illustration 9) est issu d'une démarche itérative.

L'outil ainsi mis en place, dénommé ci-après BD-SIG, contient un ensemble de couches d'informations géoréférencées créé et renseigné sous ArcGis 10, ainsi que des tables de données associées exploitables également sous Access 2010.

Suite à la phase de dépouillement, 2400 sondages issus de la BSS, des diagnostics de pollution et d'études géotechniques ont été intégrés à la BD-SIG (Illustration 10). Les informations potentiellement exploitables sont notamment : la localisation des sondages, l'altitude du sol au droit des sondages, les descriptions des terrains, les profondeurs associées aux terrains décrits, ...

Les données d'analyses associées aux sondages ont été bancarisées dans une base de données dédiée, appelée BD-analyses, rattachée à la BD-SIG (Illustration 9). Liée directement aux descriptions des échantillons, et indirectement aux paramètres organoleptiques, elle intègre notamment les résultats d'analyses.

Une vérification systématique des données saisies a été effectuée à l'aide de requêtes Access pour corriger les erreurs de saisie et éliminer les valeurs aberrantes. Malgré ce travail, la présence de « coquilles » ne peut être totalement exclue.

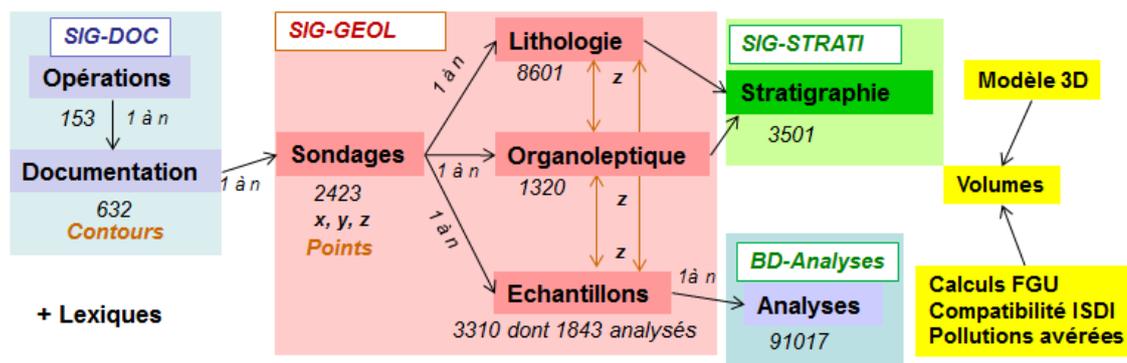


Illustration 9 : Organisation de la BD-SIG mise en place pour le traitement et l'exploitation des données de sondage et d'analyses

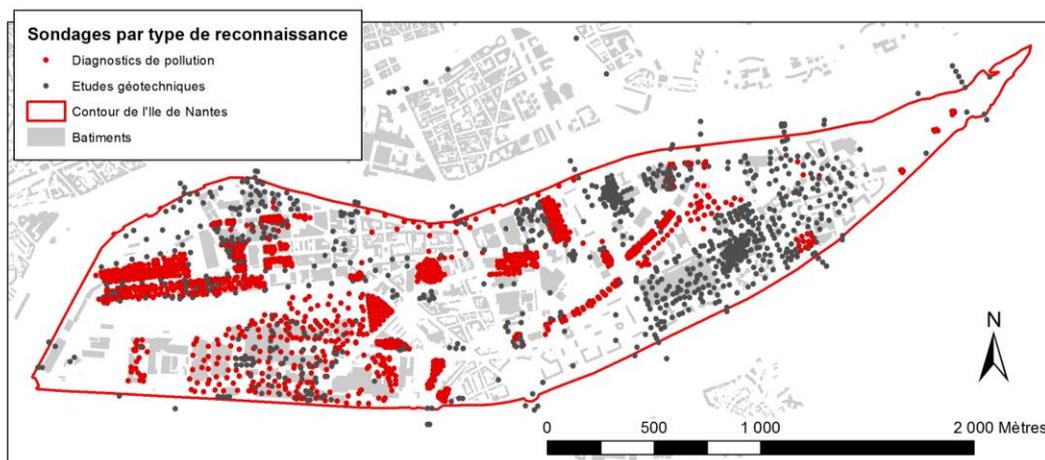


Illustration 10 : Localisation des sondages intégrés à la BD-SIG

La BD-SIG de l'île de Nantes contient ainsi 2423 sondages décrits, 1843 échantillons analysés correspondant à plus de 90 000 paramètres renseignés.

Afin de s'assurer que les données des sondages complémentaires réalisés dans le cadre de nouveaux diagnostics puissent être utilisées dans l'étude, une note technique a été proposée pour préciser les méthodes d'échantillonnages à respecter et fournir un

lexique de description des terrains rencontrés lors des forages (cf. Annexe 4). Elle s'appuie sur un retour d'expérience par rapport aux premiers lots de sondages transmis. Un fichier Excel avec des feuilles de saisie des résultats a également été proposé. Ces éléments ont été transmis par la Samoa aux bureaux d'études intervenant dans le cadre du marché à bons de commande qui les lie. La feuille Excel n'ayant pas recueilli l'adhésion des laboratoires sollicités par les bureaux d'études, il a été conclu en comité de suivi qu'une telle démarche de généralisation du formalisme des résultats d'analyses devait être réalisée à l'échelle nationale, comme cela a été fait pour les eaux souterraines (format Edilabo).

La note propose notamment une caractérisation intrinsèque des remblais par couche lithologique, différenciant les différents remblais selon la nature des éléments naturels (graviers, sables, limons, argiles, ...) et anthropiques (briques, bétons, ferraille, scories, mâchefers...) identifiés.

Typologie des remblais et modèle 3D

L'île de Nantes est connue pour présenter de nombreux remblais (cf. contexte géologique). Les remblais reposent sur des terrains naturels, susceptibles d'être excavés également lors des aménagements.

Pour pouvoir modéliser la structure des terrains de l'île, une interprétation des descriptions présentes dans les sondages est nécessaire. Pour les terrains naturels, deux ensembles de formations ont été considérés : substratum (T0), alluvions (T1).

Pour les remblais, l'idée étant de pouvoir les distinguer selon leur qualité géochimique et plus précisément selon leur potentiel contaminant intrinsèque, une typologie de remblais dédiée a été développée. Elle s'est appuyée sur a) une synthèse bibliographique internationale relative aux typologies et termes utilisés pour décrire les sols et proches sous-sols urbains (McMillan and Powell 1999 ; Environmental Protection Agency 2002 ; Ellison et al. 2002 ; Rosenbaum et al. 2003) et aux travaux de modélisation géologique en 3D intégrant la question des remblais (Royse et al. 2009 ; Ford et al. 2010 ; De Beer et al. 2012 ; Tame et al. 2013) sur les descriptifs des sondages collectés. La première typologie de remblais élaborée intégrait 4 types de remblais : a) assimilés naturels, ou assimilables b) à des déchets inertes, c) à des déchets non dangereux ou d) à des déchets dangereux. Le croisement avec les données d'analyses, non satisfaisant, a conduit à revoir cette typologie et en particulier les catégories de remblais contenant des matériaux anthropiques insuffisamment représentés. La typologie retenue au final est la suivante :

- Remblais douteux (ou suspects) (T4) au potentiel contaminant intrinsèque fort lié à la présence de déchets industriels (scories, mâchefers) ou de matériaux tels que du bitume.
- Remblais assimilés naturels (T2), au potentiel contaminant intrinsèque faible. Ils correspondent sur l'île de Nantes essentiellement à des sables de Loire moyens à grossiers, issus de dragages de Loire.
- Remblais divers (T3), au potentiel contaminant intrinsèque intermédiaire. Ils correspondent en majorité à des matériaux de démolition ou à des déblais de

chantiers (déchets BTP), et peuvent contenir également des matériaux de type ferrailles, plastiques, verres (type déchets non dangereux).

Les jeux de photos de l'Annexe 5 permettent de visualiser ces différents types de remblais.

La modélisation géologique sous GDM considérant la superposition de couches selon une logique de dépôt, les formations interprétées selon la typologie de remblais et de terrain naturels ont été rattachées à des classes de matériaux, selon la logique décrite dans l'illustration 11. Ainsi, après une interprétation des 8601 passes issues des logs de forages, en suivant la typologie des remblais définie ci-dessus, 3500 niveaux distincts ont été constitués (répartis en 3 classes de remblais, une classe d'alluvions et une classe pour le substratum).

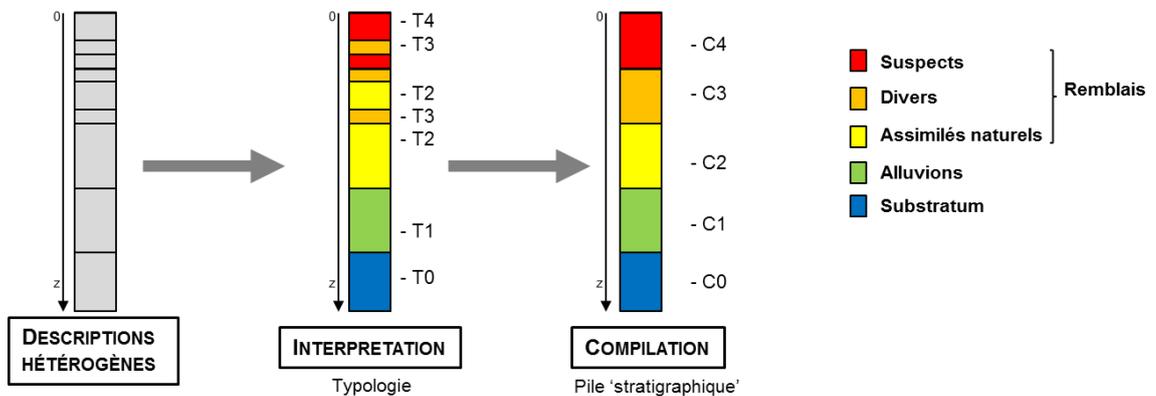


Illustration 11 : Méthode de rattachement de la typologie des terrains (T) aux classes de matériaux (C) définies pour la modélisation géologique

Les passes de sondage ainsi rattachées à des classes de matériaux (C0 à C4), caractérisées par une localisation, une altitude de début et de fin, ont été mises au format GDM. C0 correspond au substratum, C1 aux alluvions (indifférenciées), C2 aux remblais assimilables naturels (sables hydrauliques de Loire dans le cas présent), C3 aux remblais divers et C4 aux remblais suspects. Avant interpolation, différentes vérifications ont été menées pour assurer la cohérence des différents paramètres. Pour l'altitude, on s'est appuyé sur un modèle numérique de terrain ancien de 1970 reconstitué à partir de cartes topographiques anciennes ainsi que sur le MNT récent. Les tests de corrélation entre les données ont permis de choisir la méthode d'interpolation.

Le modèle a été établi sur la base de l'interpolation des sondages traités. Il a été contraint par la géométrie des remblais de comblement identifiés à partir du croisement de 15 cartes anciennes sélectionnées, datant de 1754 à nos jours. Le traitement

géographique avait consisté à digitaliser le contour des boires⁷, et l'évolution des contours des ilots au fil du temps. Le modèle a été contraint également par l'épaisseur des remblais de rehaussement, obtenu par différence d'altitude entre le MNT récent élaboré et le MNT ancien (années 1970) reconstitué.

Le modèle 3D ainsi réalisé sous GDM et Multilayer permet la production de coupes verticales en 2D. L'export de données géoréférencées au format Shapefile a permis en outre une représentation 2D des classes de matériaux à l'affleurement sous ArcGis (cf. Résultats).

Détermination des fonds géochimiques

Dans l'optique de réutiliser les terres excavées au sein de l'île de Nantes, et d'appliquer le guide qui y est dédié⁸, le BRGM s'est attaché à déterminer les fonds géochimiques de l'île de Nantes en première approche, en déterminant un fond géochimique naturel et un fond géochimique anthropisé. La méthodologie est détaillée ci-dessous et les résultats de la réflexion sont détaillés en § 5.2.

a. Approche pour déterminer le fond géochimique naturel de référence

Afin de disposer d'un jeu de données de référence sur des terrains naturels peu ou pas anthropisés, des prélèvements ont été réalisés dans des alluvions et les sols développés sur ceux-ci à la pointe est de l'île (CRAPA) et sur une île de Loire située à l'est de l'agglomération (île Héron, ...). Leur localisation est précisée dans l'illustration 12. L'île de Nantes ayant fait l'objet de nombreux bombardements pendant la 2^{ème} guerre mondiale, une analyse préliminaire a été menée pour localiser les impacts de bombe et éviter de prélever dans les zones d'impacts afin de limiter les biais éventuels sur les résultats d'analyse.

⁷ Boire : La boire est un [bras mort](#) de la [Loire](#), souvent ensablé ou envasé, remis en eau l'hiver au moment d'une crue.

⁸ Guide de réutilisation hors site des terres excavées en technique routière et dans des projets d'aménagement, RP-60013-FR, février 2012

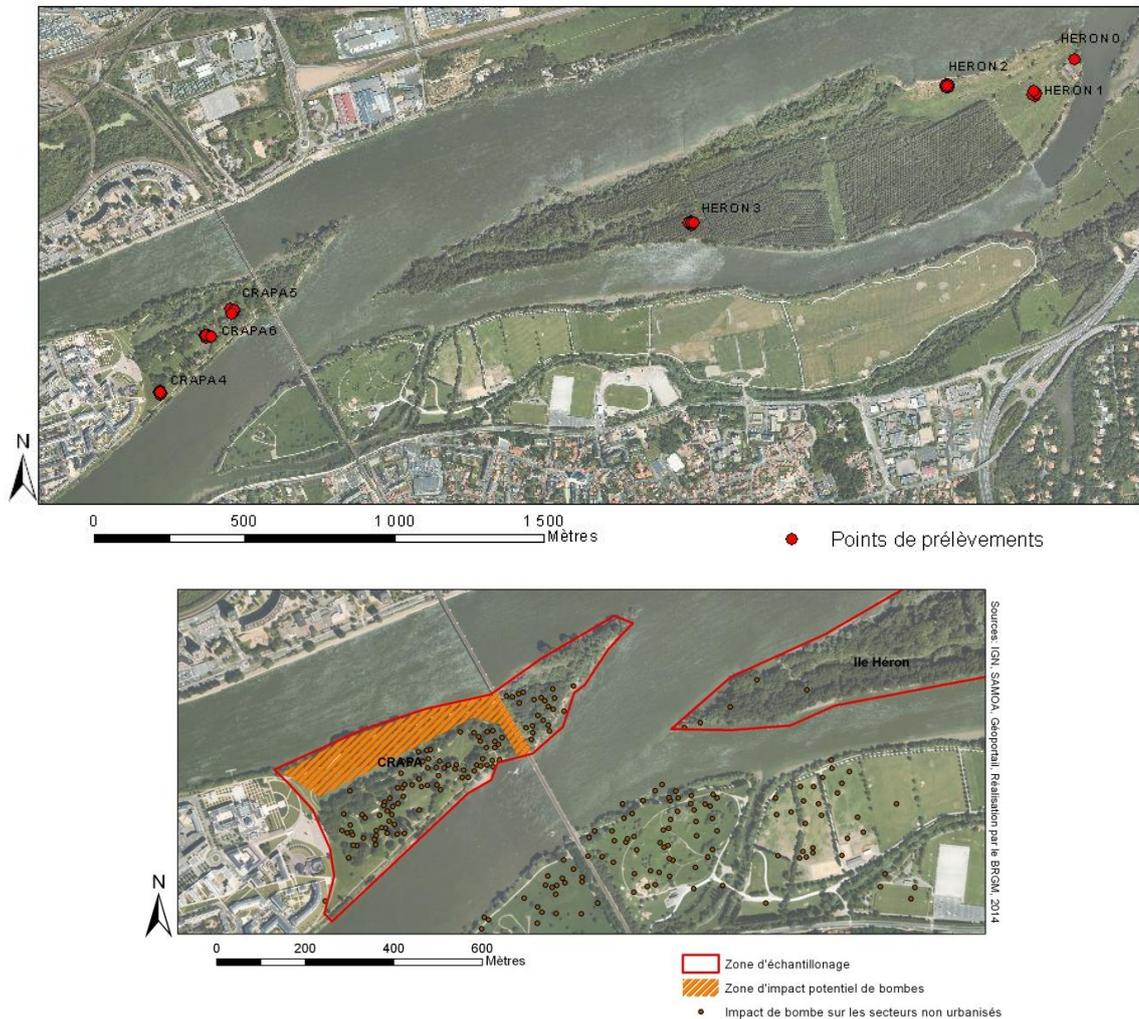


Illustration 12 : Localisation des points de prélèvements par comparaison avec les impacts de bombe recensés

Les prélèvements ont été réalisés à la tarière à main sur des profils de 2,2 m de profondeur. Chaque échantillon correspond à un composite formé à partir des 5 profils (Illustration 13) réalisés au centre et aux arêtes d'un carré de 10 m de diagonale. Lors d'un prélèvement ont été réalisés la description des terrains rencontrés (Illustration 14), l'échantillonnage, la remise en état et le géoréférencement des points de prélèvement. Les échantillons prélevés ont été envoyés à un laboratoire agréé où ils ont été préparés (séchés, tamisés à 2 mm, dissolution/extraction) et analysés selon les protocoles utilisés par les bureaux d'étude intervenant sur l'île de Nantes pour des diagnostics de pollution. Les paramètres du pack ISDI⁹ ont été recherchés ainsi que les

⁹ ISDI : Installation de Stockage de Déchets Inertes

analyses de métaux/métalloïdes sur brut incluant l'uranium (U), le thorium (Th), le tungstène (W) et l'étain (Sn).

La vingtaine de données d'analyse acquise a été exploitée statistiquement (min, max, moyenne, percentiles, vibrisses...). Le fond géochimique de référence (naturel à peu anthropisé) des alluvions a été supposé correspondre au 90^{ème} percentile calculé à partir de ces données. Celles-ci visent également à servir d'élément de comparaison pour la suite de l'étude.



Illustration 13 : Principe d'échantillonnage sur profils de sols composites

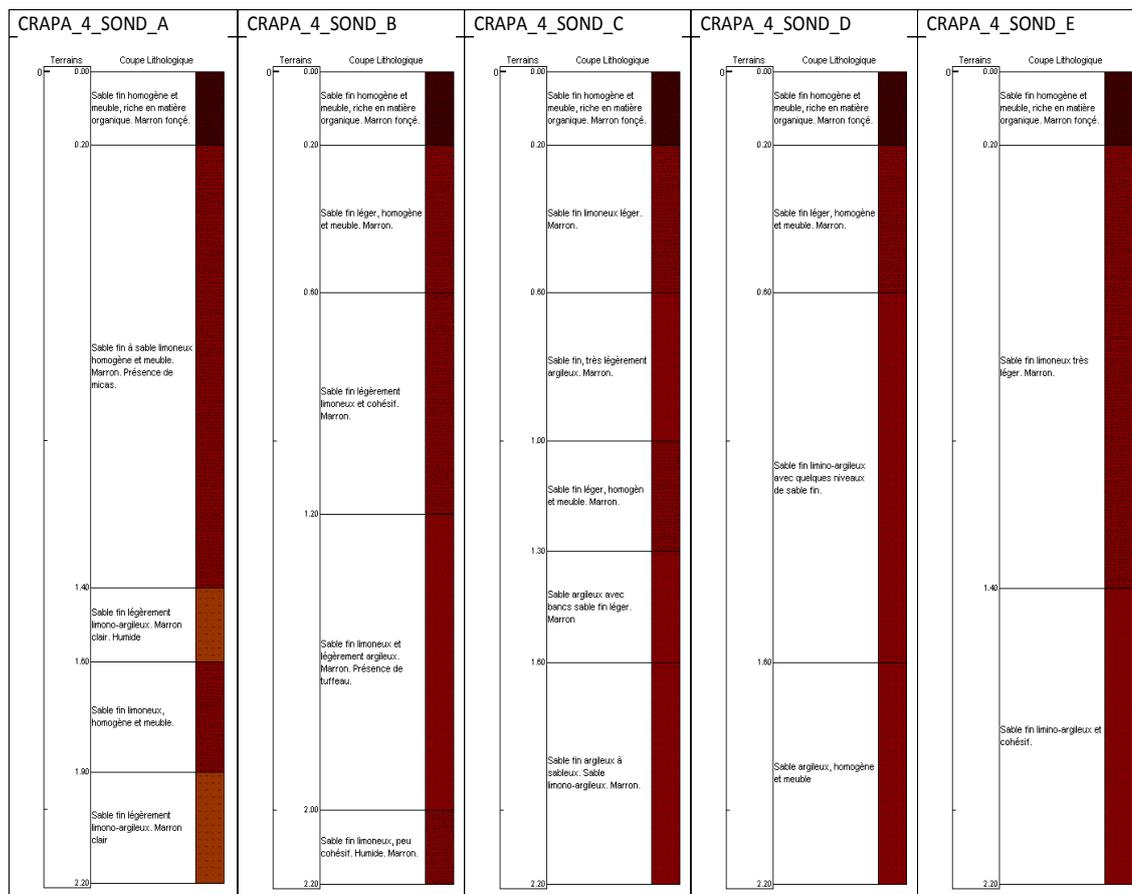


Illustration 14 : Description des profils de sols

Echantillons analysés	Type d'analyse	Paramètres recherchés
Tous	Sur solide (fraction < 2 mm)	<p>Matière sèche/teneur en eau, COT sur brut, pH, Perte au feu</p> <p>Métaux/métalloïdes (dont au moins As, Ba, Cd, Cr total, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Zn + U + Sn + Th + W)</p> <p>Composés organiques : Indice hydrocarbures (C10-C40), HAP-PCB, indice phénol</p>
> 25 cm profondeur	2/ Essais de lixiviation (Norme NF EN 12457-2)	<p>Incluant :</p> <ul style="list-style-type: none"> - pH sur éluat, fraction soluble, COT sur éluat, - chlorures, fluorures, sulfates, indice phénol - As, Ba, Cd, Cr total, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Zn + U + Sn + Th + W

Tableau 3 : Détail du programme analytique

b. Détermination du fond géochimique anthropisé de l'île de Nantes

Pour déterminer le fond géochimique anthropisé, le BRGM a utilisé les données issues des différentes études de sols menées au droit de l'île et transmises par la Samoa.

La première étape a consisté à sélectionner les données bancarisées pertinentes pour l'élaboration d'un fond géochimique anthropisé. Celui-ci intègre ainsi des pollutions diffuses liées aux activités humaines historiques et actuelles (cf. définitions en annexe 6). En revanche, il n'intègre pas les pollutions ponctuelles, qui sont une des principales cibles des diagnostics de pollution (et non représentatives du fond géochimique). Pour s'affranchir des pollutions ponctuelles, une réflexion et des tests ont été menés pour éliminer les teneurs correspondantes (détails en Annexe 6). Pour les composés organiques, des seuils d'écrémage ont été définis sur la base de valeurs de références nationales pour les sols contaminés (Blanc et al., 2012) et la gestion des déchets inertes (Arrêté du 12 décembre 2014). Les valeurs correspondantes sont : 50 mg.kg⁻¹ pour la somme des 16 HAP, 500 mg.kg⁻¹ pour la coupe hydrocarbure C₁₀-C₄₀ et 0,1 mg.kg⁻¹ pour la somme des 7 PCB indicateurs. Pour les éléments traces, les seuils d'écrémage¹⁰ ont été définis comme 10 fois (x10) le fond géochimique naturel (ou peu anthropisé) (voir Annexe 6).

La deuxième étape a consisté à vérifier par paramètre et par typologie de terrain la variabilité et l'exploitabilité des données triées. Les échantillons analysés pouvant correspondre à plusieurs lithologies et donc plusieurs typologies de terrain, le rattachement à une typologie donnée a été régié par des règles (Le Guern et al, 2016), telles que :

- a) les échantillons correspondant à un seul type de terrain (T0 à T4) sont jugés représentatifs de ce terrain,
- b) pour les échantillons rattachés à deux types de terrain, la typologie la plus déclassante a été retenue dès qu'elle représente plus de 20 % de l'échantillon.
- c) les échantillons rattachés à 3 types de matériaux ou plus ont été rejetés (sauf exception), car les analyses chimiques ne peuvent être associées à un type de terrain particulier,
- d) Pour les échantillons prélevés en partie dans les remblais douteux (T4), les échantillons contenant moins de 20 % de remblais douteux ont été rejetés.

Par type de terrain, cela est revenu à retenir :

- T1 : échantillon 100 % dans T1
- T2 : 100 % T2, ou T1+T2 avec au moins 20 % de T2 (en pratique, au moins 50 % de T2)
- T3 : 100 % T3, ou T2+T3 (+T1) avec au moins 20 % de T3
- T4 : 100 % T4, ou au moins 20 % de T4.

¹⁰ Ecrémage : les valeurs supérieures au seuil n'ont pas été considérées dans les calculs statistiques

874 échantillons (sur les 1843 échantillons analysés enregistrés dans la base de données) ont ainsi été considérés comme représentatifs des différentes typologies de terrain définies et exploitables : 330 pour les remblais assimilés naturels (T2), correspondant dans le cas présent à des sables hydrauliques, 389 pour les remblais douteux (T4), et 115 pour les remblais divers (T3). En outre, 41 ont été jugés représentatifs des dépôts alluviaux sous-jacents (T1). Les données triées correspondantes ont été exploitées statistiquement (min, max, moyenne, percentiles, vibrisses...) par typologie de terrain.

De nombreuses teneurs étant inférieures aux limites de quantification, en particulier pour les composés organiques, la valeur de la limite de quantification a été considérée par défaut, même si ce choix majorant n'est pas totalement satisfaisant. Néanmoins, la pratique usuelle de diviser par 2 la limite de quantification n'a ici pas de sens dans la mesure où cela pourrait engendrer des valeurs de référence inférieures aux limites de quantification.

Par analogie de démarche relative à la détermination du fond géochimique peu ou pas anthropisé, le fond géochimique anthropisé a été supposé correspondre au 90^{ème} percentile calculé à partir de ces données. Un essai de calcul de fond géochimique anthropisé global, c'est-à-dire incluant l'ensemble des typologies de remblais, a été tenté. L'exploitation brute des données sélectionnées n'est pas apparue pertinente, car certaines typologies de terrain présentent une surreprésentation d'analyses par rapport à leur volume relatif sur l'île. Il a ainsi été choisi de combiner et pondérer les 90^{ème} percentiles définis par typologie de terrain, tout en vérifiant la cohérence de cette approche au regard de l'hétérogénéité des milieux.

Les résultats des fonds géochimiques naturel ou anthropisé sont détaillés dans le §5.2.

4. Résultats de l'IHU

4.1. REPARTITION SPATIALE ET TEMPORELLE DES ACTIVITES INDUSTRIELLES ET DE SERVICE

L'ensemble de l'étude menée sur l'Île depuis 2014 a abouti à la création de 105 nouveaux sites BASIAS venant s'ajouter aux 94 déjà répertoriés (Illustration 15), et qui enrichiront la base nationale.

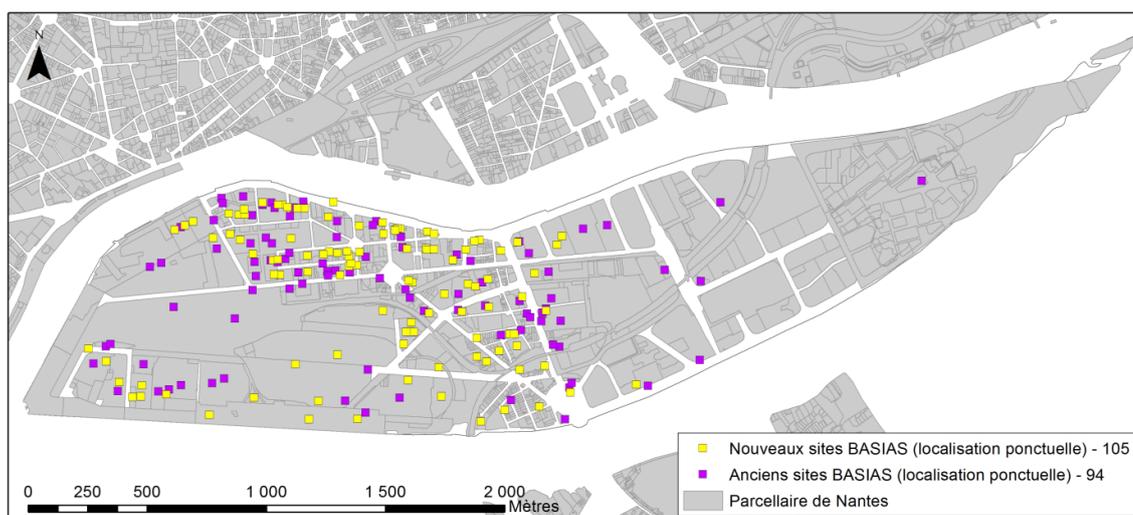


Illustration 15 : Evolution des sites localisés recensés dans Basias

L'emprise de 70 des 94 sites déjà répertoriés a pu être saisie sur le SIG (74 %). L'emprise de 91 des 105 sites créés à l'occasion de l'étude a également pu être renseignée (87 %) (Illustration 16). Pour les 38 sites non renseignés, l'absence d'emprise est principalement due à une absence de plan ou à l'impossibilité d'exploiter les plans disponibles (plan non localisable, croquis à main levée, mauvaise conservation du document...).

Pour aboutir à ce résultat, 201 plans préalablement numérisés ont été sélectionnés et calés géographiquement. Les 265 polygones numérisés correspondent à 324 emprises différentes de sites industriels ou de services potentiellement polluants localisés à une date donnée.

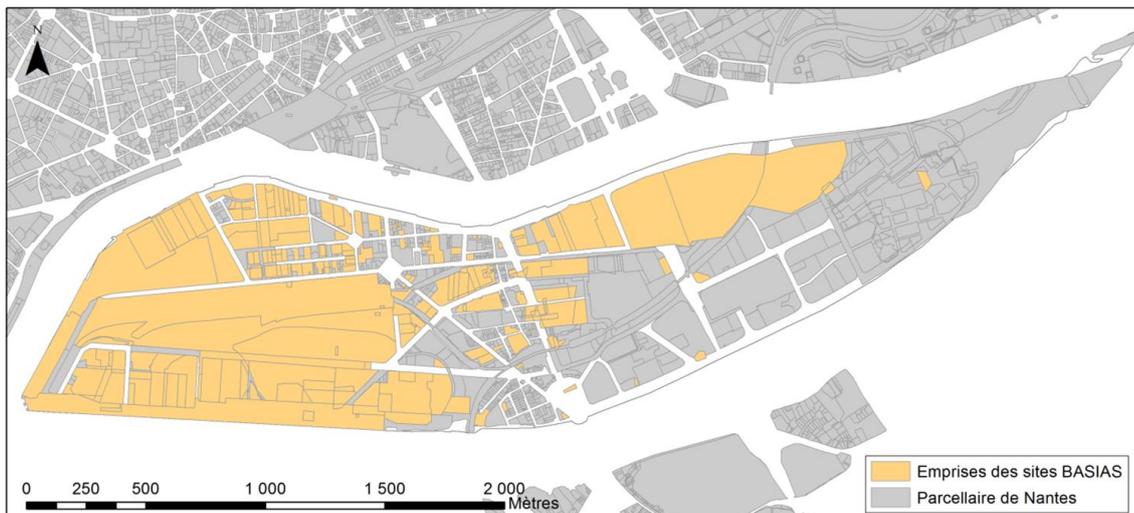


Illustration 16 : Répartition spatiale des emprises des activités industrielles et de service potentiellement polluantes recensées sur l'île de Nantes

1 278 polygones d'intrasites ont été numérisés (Illustration 17). Ils correspondent au renseignement de 1 336 installations et activités internes à des sites industriels ou de services potentiellement polluants localisés à une date donnée. Il a été possible de renseigner des intrasites pour 53 des 94 sites déjà existants (56 %), et 63 des 105 nouveaux sites (60 %). L'absence d'informations exploitables pour les intrasites des autres sites concerne notamment les activités anciennes, pour lesquelles les plans se limitaient bien souvent à une simple localisation du site : seuls 6 plans sur les 173 exploités dans le cadre des intrasites sont antérieurs à 1900.

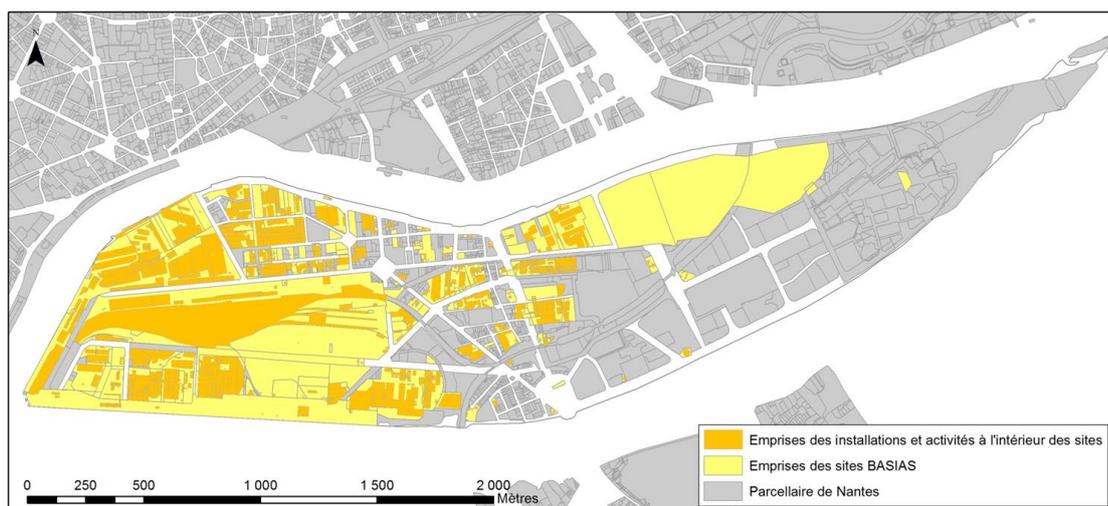


Illustration 17 : Sources de pollutions potentielles associées aux activités industrielles et de services potentiellement polluantes recensées sur l'île de Nantes

4.2. NOTES HISTORIQUES

A la demande de la SAMOA ont été produites dix notes de synthèse cartographiant l'historique des activités et installations passées sur certains secteurs d'aménagement spécifiques. La note produite, présentant un résumé des données disponibles dans les archives et la base de données, était complétée par les données de sondages disponibles, les caractéristiques des sols et sous-sols et la localisation des comblements de boires, parfois réalisés avec des scories et des mâchefers.

4.3. UTILISATION POSSIBLE DES DONNEES DE L'IHU

4.3.1. *Produits livrés à la Samoa*

Les produits livrés à la Samoa (Illustration 18) correspondent à une mise en forme cartographique des données de l'IHU permettant une consultation simplifiée en lien avec les projets d'aménagement. Les couches SIG interrogeables fournies correspondent d'une part aux emprises de sites (Contour_sites_IdN_ppdc et contours_sites_Basias_IdN), et d'autre part aux emprises des sources de pollutions potentielles (intrasite_IdN_ppdc) identifiées à partir des recherches historiques. Sont livrés également les points Basias géoréférencés et les plans géoréférencés ayant permis de digitaliser les différents contours (sites et intrasites). Les fichiers sont livrés au format shapefile, dans le système de coordonnées de référence RGF93 Lambert 93.

Ces données géographiques sont complétées par des bases de données, interrogeables également. Les premières contiennent les sites Basias (1 ou plusieurs sites pour un contour ppdc) auxquels se rattachent les contours (une base pour les contour_sites_IdN_ppdc, une pour les intrasites_IdN_ppdc) ainsi que les codes NAF (un ou plusieurs) recensant les activités potentiellement polluantes identifiées, et les périodes d'activité correspondantes. Les deuxièmes contiennent les polluants potentiels relatifs à chaque emprise (une base pour les contour_sites_IdN_ppdc, une pour les intrasites_IdN_ppdc).

Enfin, un dossier numérique par site Basias est également livré. Il contient les fiches Basias initiales et actualisées, ainsi que les différents documents d'archives numérisés et rassemblés par site Basias. Des liens depuis les bases de données et les couches SIG permettent de remonter aux documents utilisés pour renseigner les tables de données.

Les produits livrés contiennent également des fichiers de mise à jour permettant d'incrémenter de nouveaux contours Basias et intrasites.

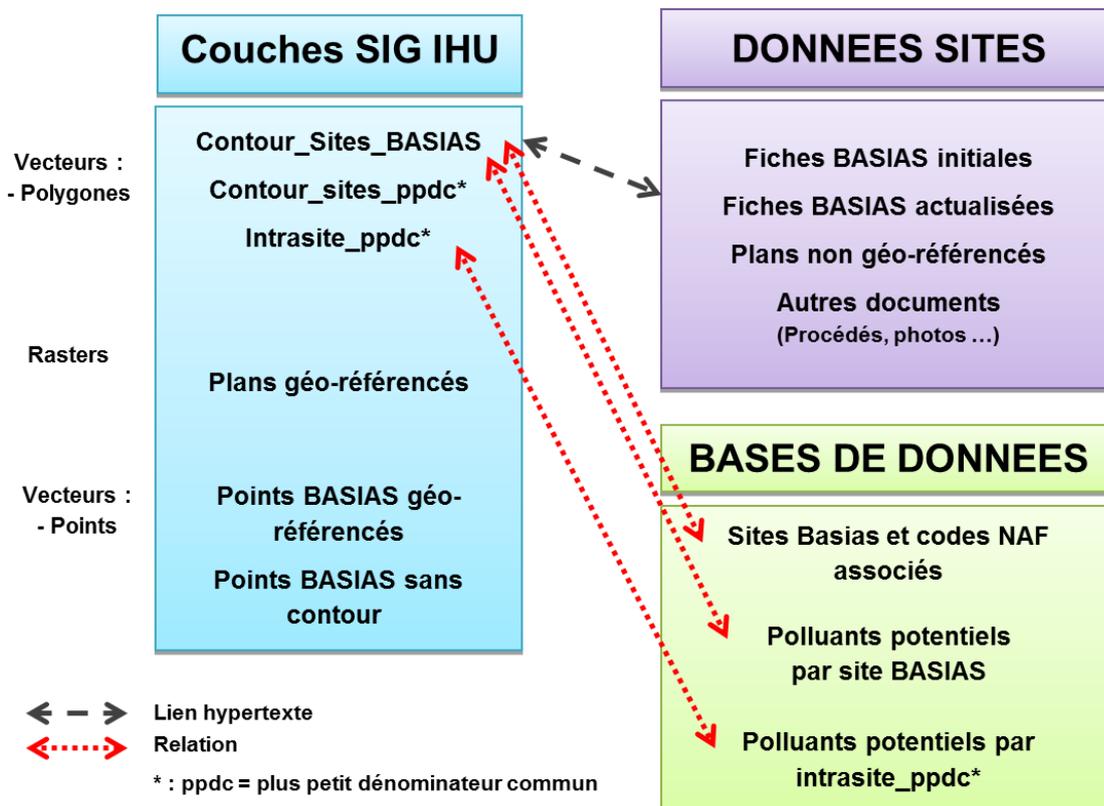


Illustration 18 : Produits livrés à la SAMOA dans le cadre de l'IHU Ile de Nantes

4.3.2. Mode d'interrogation principal : nature et répartition des sources potentielles de polluants

La principale interrogation visée concerne la nature et la répartition des sources potentielles de polluants. Pour ce faire, en complément des données fournies, des projets cartographiques sous QGIS (.qjs) ont été livrés par élément pour faciliter la consultation. Ces projets permettent de cartographier le degré de potentialité de présence d'une pollution ou d'un polluant (Illustration 19 et Illustration 20). Le degré de potentialité d'une pollution correspond au degré maximum de l'ensemble des polluants potentiels.

L'illustration 19 et l'illustration 20 montrent des exemples de représentation cartographique des degrés de potentialité de pollution aux hydrocarbures et au plomb, en lien avec les sources de pollutions potentielles relatives aux sites industriels et activités de services potentiellement polluants dont les emprises ont pu être spatialisées.

Un click sur les éléments cartographiques permet d'identifier les données associées. Par exemple, à chaque contour est associé l'ensemble des indices polluants tels que définis au §3.1.3, ainsi que les sources d'informations utilisées pour dessiner le contour.

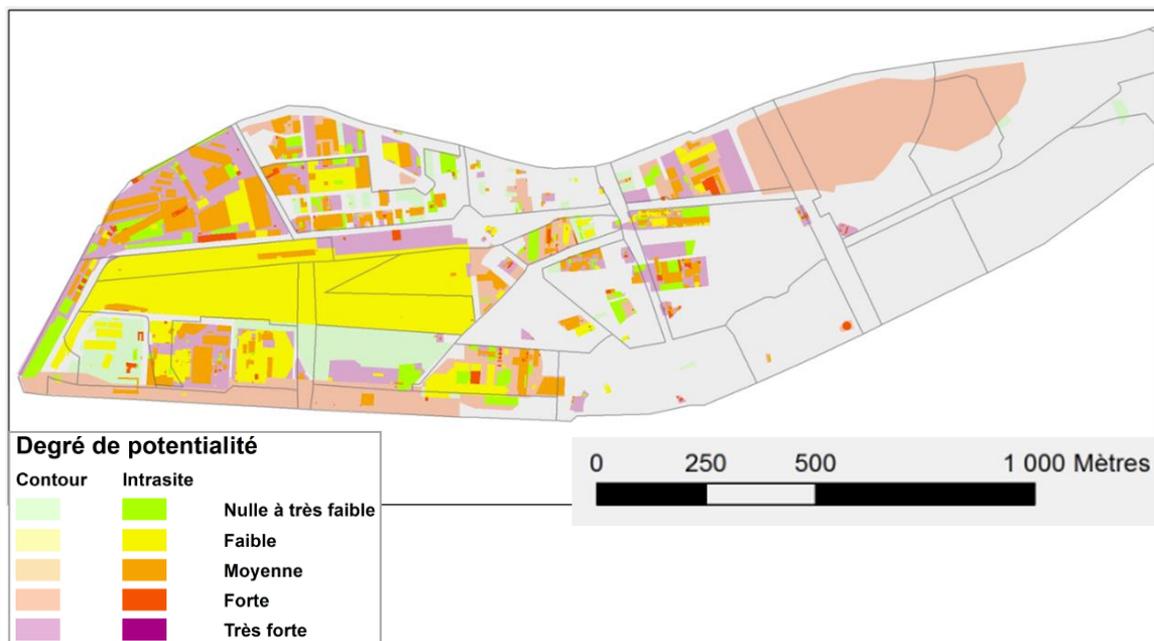


Illustration 19 : Degré de potentialité aux hydrocarbures lié aux sources potentielles de pollutions localisés au sein des sites industriels et activités de service recensés



Illustration 20 : Degré de potentialité au plomb (Pb) lié aux sources potentielles de pollutions localisés au sein des sites industriels et activités de service recensés

S'agissant de couches SIG et de bases de données associées, un utilisateur maîtrisant les SIG pourra créer ses propres requêtes (cf. § suivant).

4.3.3. *Apport historiographique*

L'Inventaire Historique Urbain, confié au BRGM, n'a pas vocation à être une étude à caractère patrimonial, mais un outil au service des projets d'aménagement et de la gestion des sites potentiellement pollués, par Nantes Métropole et les Sociétés d'Aménagement.

Pour autant, elle constitue un travail de compilation de données historiques sans précédent sur ces quartiers de Nantes, fondé sur le dépouillement de plusieurs milliers de dossiers d'archives. Les données compilées, dont les sources ont été systématiquement référencées (articles et cotes d'archives) pourraient aider à orienter des recherches historiques sur les secteurs étudiés. Une exploitation simple des données permet par exemple de retracer l'évolution historique des différentes activités du secteur, par emprise globale (Illustration 21) ou par type d'activité.

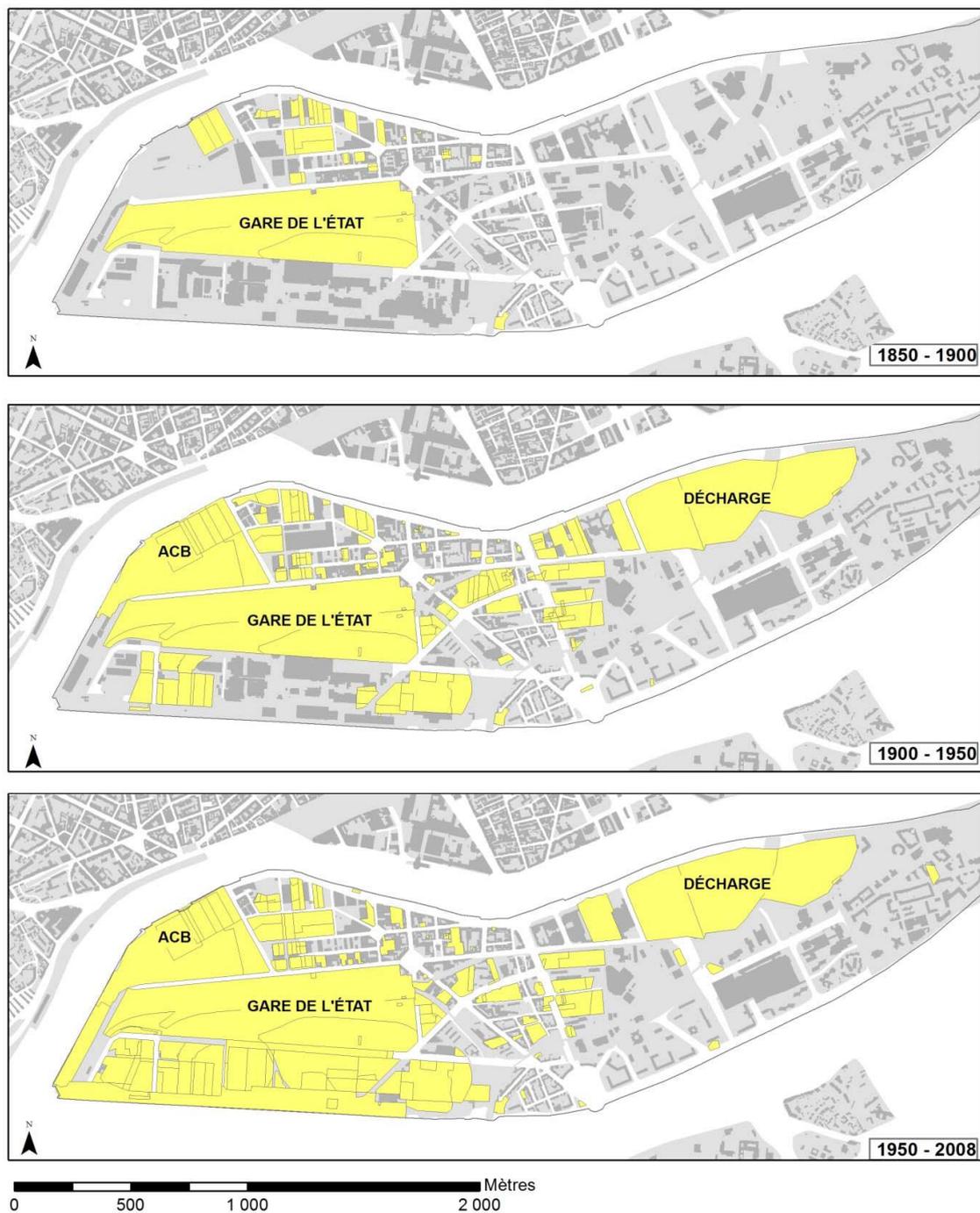


Illustration 21 : Évolution des emprises de sites ayant accueilli des activités industrielles ou de services potentiellement polluantes de 1850 à 2008

4.4. COMPARAISON DES POLLUTIONS POTENTIELLES ET AVEREES

L'IHU apporte des indications sur les pollutions potentielles liées aux activités industrielles et de service d'une part. La base de données BD-Analyses apporte quant à elle des indications sur les pollutions avérées. Il est ainsi apparu intéressant de comparer les pollutions potentielles et avérées.

Aux sources de pollutions potentielles liées aux activités industrielles et de service identifiées dans le cadre de l'IHU peuvent être associés des polluants potentiels. Les indices de potentiel polluant traduisent une redondance d'information quant aux polluants potentiellement associés à une source (cf. § 3.1.3. et 4.2).

L'illustration 22 montre l'exemple des dépôts de liquide inflammable DLI, caractérisés par un volume plus ou moins important stocké. Il s'agit généralement d'hydrocarbures (fuel domestique, carburants...). Les teneurs fortes en hydrocarbures dans les sondages sont situées dans certains cas à proximité des sources de pollutions potentielles identifiées, indiquant une corrélation entre les deux informations. Dans d'autres cas, elles ne semblent pas corrélées car situées en dehors des zones de recensement. Ceci peut refléter soit un manque de connaissance lié aux limites de l'IHU (recensement non exhaustif, cadrage de l'IHU où le recensement systématique vise les DLI > 10 m³), soit un transfert d'hydrocarbures sous forme de panache dans le sous-sol que le recensement des seules sources ne permet pas de préciser, à défaut de diagnostic sur l'extension latérale et verticale des polluants. Enfin, tous les DLI n'ont pas généré des pollutions des sols, seule une caractérisation des sols permet de le vérifier. Ces observations sont confirmées par l'analyse des corrélations par point d'échantillonnage (Illustration 23).

Dans l'illustration 24 une grande partie des teneurs importantes en Pb analysées dans le proche sous-sol se corrèle avec la présence de sources potentielles de pollution au Pb liées aux activités industrielles et de service. Cette observation est confirmée par l'analyse des corrélations par point d'échantillonnage. En l'absence de corrélation avec les activités industrielles et de service, une corrélation avec la présence de remblais suspects a généralement pu être trouvée (Illustration 25).

Cette comparaison des pollutions avérées et potentielles montre l'intérêt de l'inventaire historique urbain. Il montre également la nécessité de prendre en considération la présence de remblais et en particulier de remblais intrinsèquement potentiellement pollués du fait des matériaux qui les constituent (notamment d'origine industrielle). La cartographie des remblais selon la typologie développée est précisée dans le § suivant.

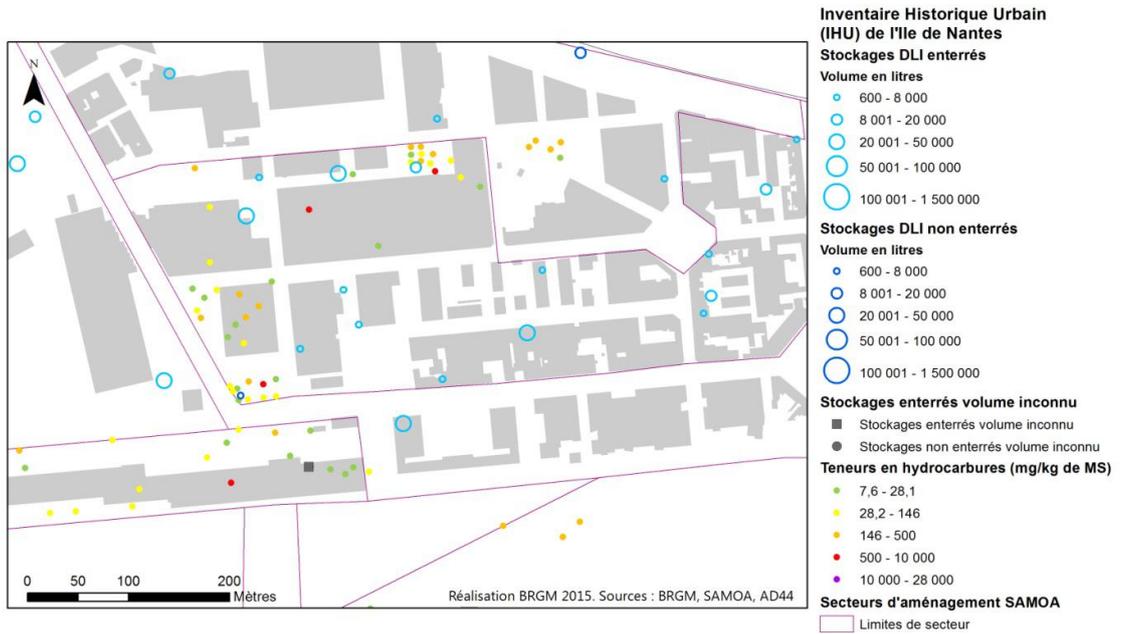


Illustration 22 : Cartographie des dépôts de liquide inflammable sur l'île de Nantes, corrélés aux résultats d'analyses de teneurs en hydrocarbures issus de sondages. La localisation de l'emplacement historique d'une installation ne préjuge pas de sa présence actuelle.

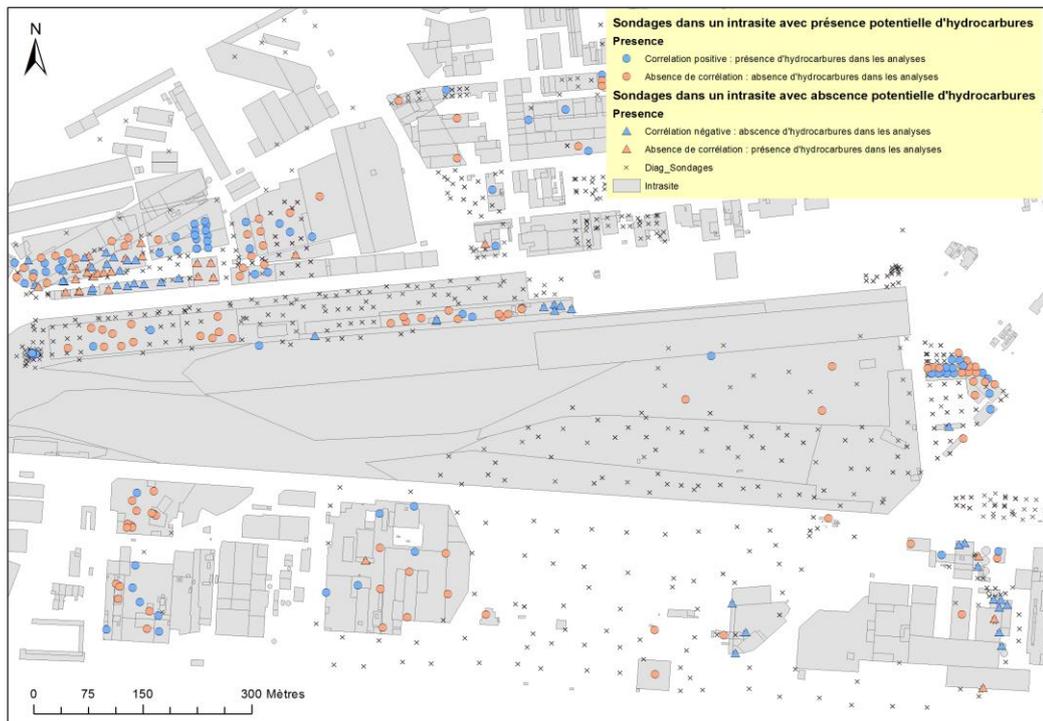


Illustration 23 : Synthèse des corrélations entre pollution avérée du proche sous-sol et pollution potentielle aux hydrocarbures liée aux activités industrielles et de service

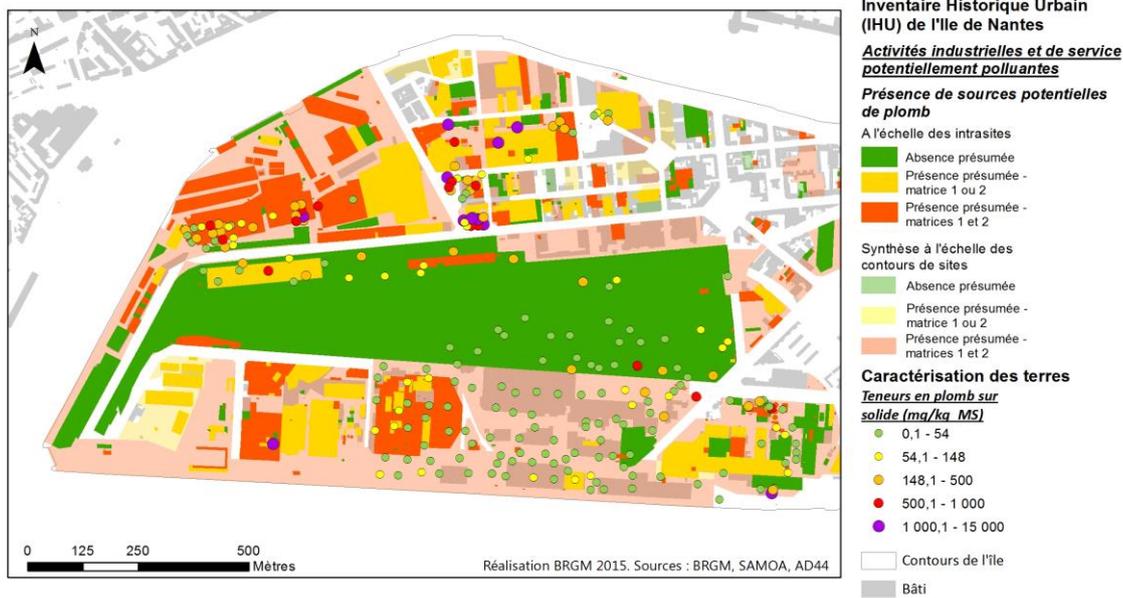


Illustration 24 : Comparaison entre l'indice de potentialité au Pb et les teneurs analysées dans les sols et proches sous-sol de l'île de Nantes

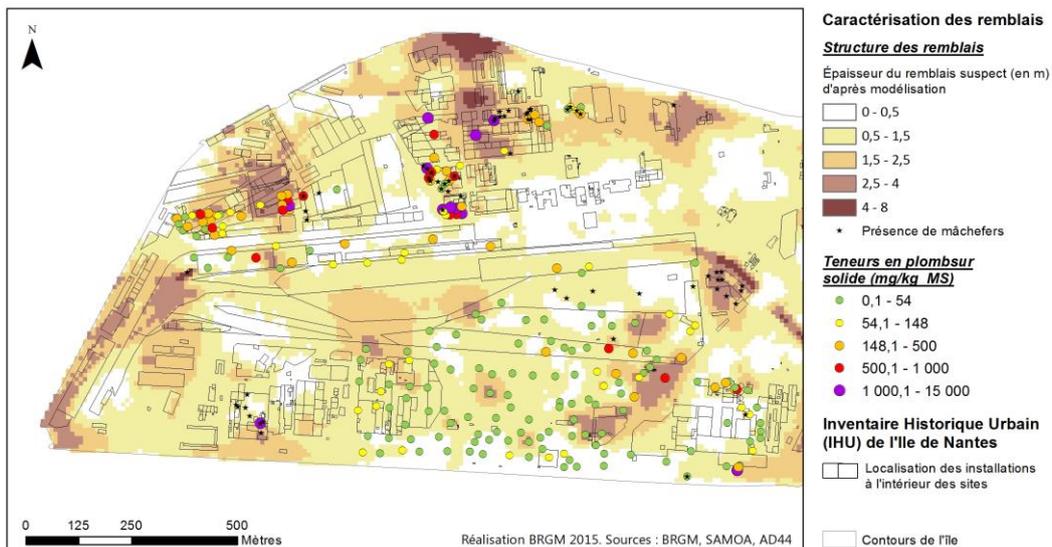


Illustration 25 : Mise en relation des teneurs en Pb analysées dans le proche sous-sol de l'île de Nantes avec la présence de remblais suspects, intrinsèquement potentiellement pollués (présence de mâchefers indiquée d'après les descriptions de sondage)

5. Qualité des sols et proches sous-sols

5.1. MODELE 3D

Le modèle géologique 3D réalisé sous GDM et Multilayer est présenté en Illustration 27. L'évolution des comblements de Loire à l'échelle de l'île de Nantes, élaborée par traitement et interprétation de 15 cartes anciennes de 1754 à nos jours (Illustration 26) fait partie des résultats intermédiaires ayant servi à contraindre le modèle (cf. § Méthodologie). L'export des grilles du modèle au format Shapefile a permis de représenter les classes de matériaux à l'affleurement à différentes profondeurs sous ArcGis en 2D (Illustration 28) et de calculer les proportions correspondantes (Tableau 4).

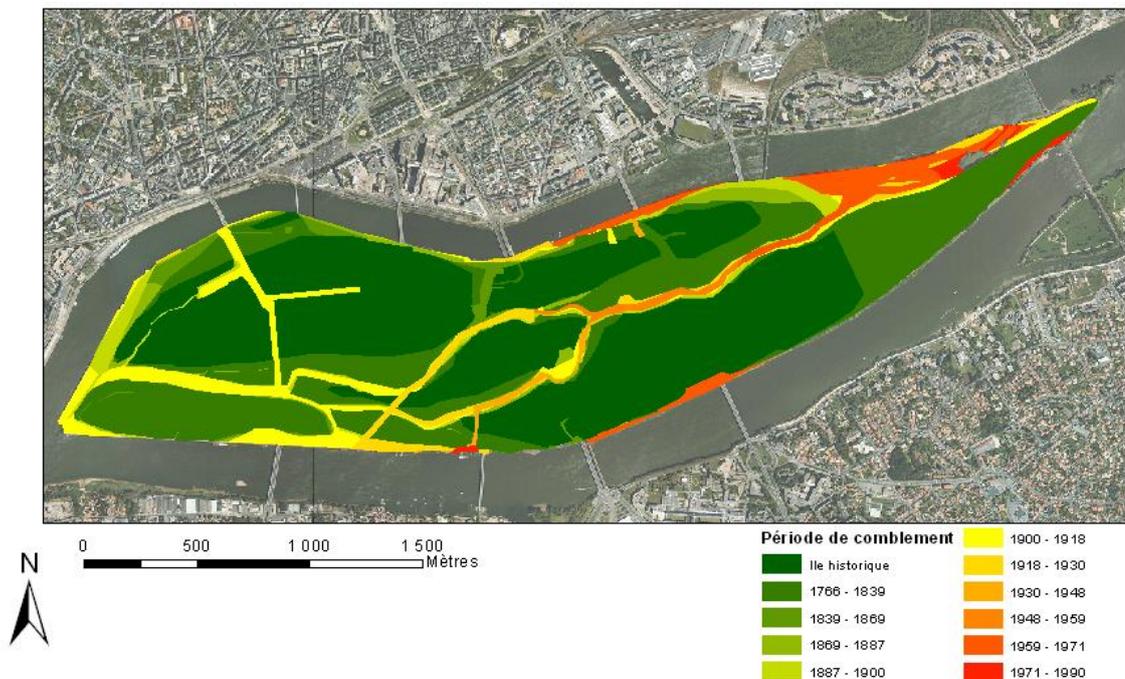


Illustration 26 : Evolution des comblements de Loire à l'échelle de l'île de Nantes, élaborée par interprétation de 15 cartes anciennes

Les représentations ainsi obtenues (Illustration 27, Illustration 28 et Tableau 4) montrent une présence importante de remblais douteux en surface, une présence modérée de remblais divers dans les 2 premiers mètres et une présence très significative de remblais assimilés naturels sur l'ensemble de l'île. Ces derniers correspondent en majorité à des sables hydrauliques (photographies en Annexe 5).

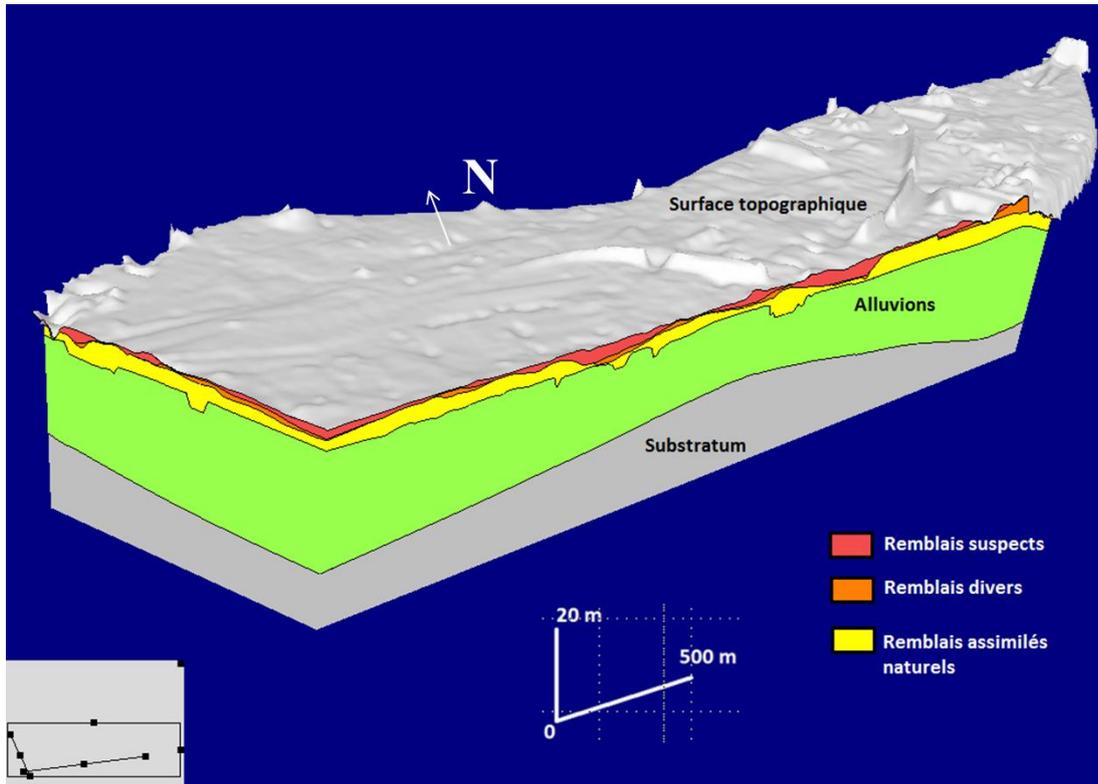
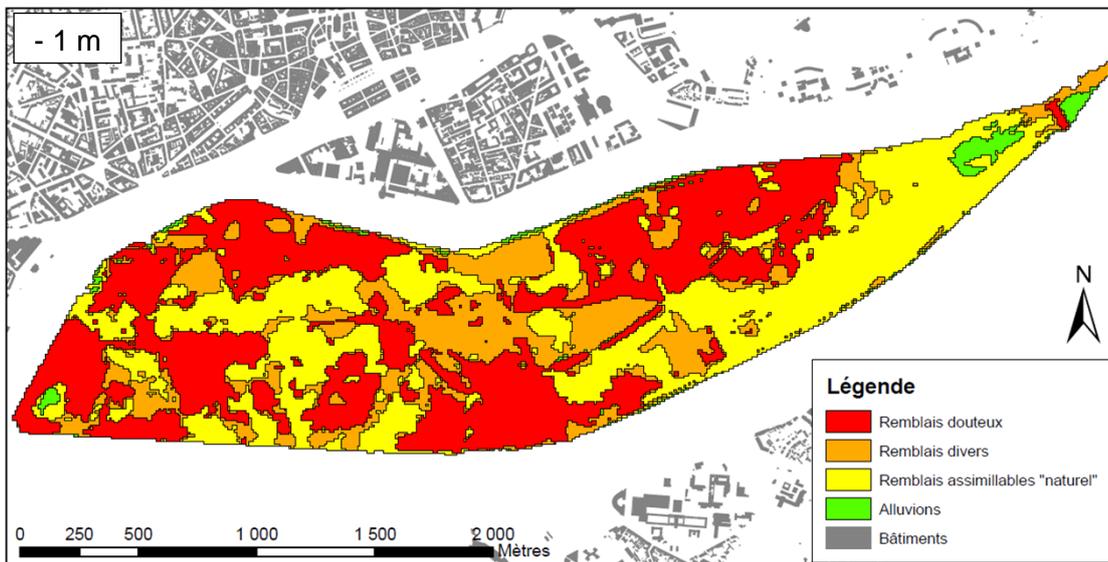
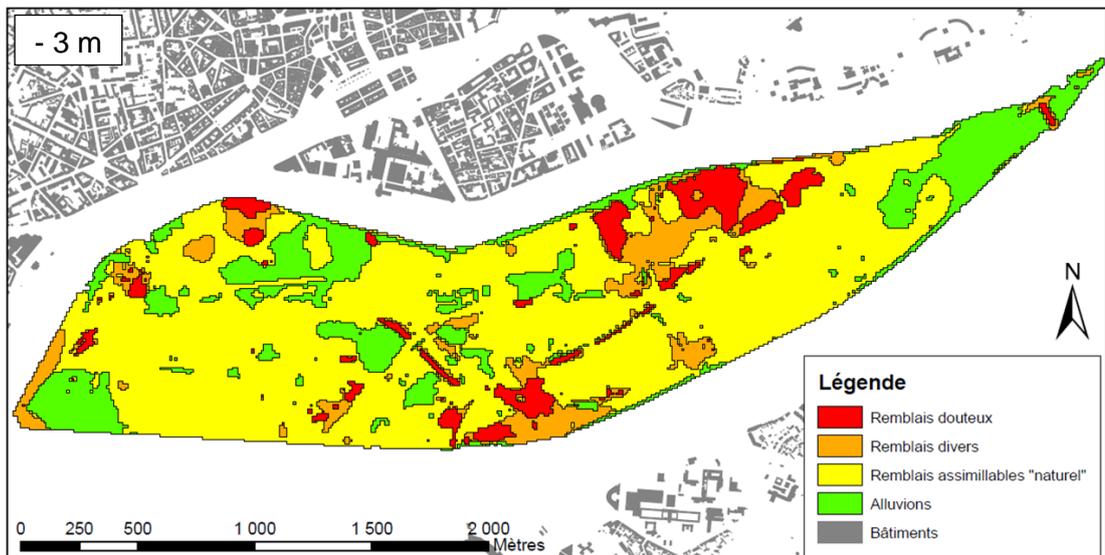
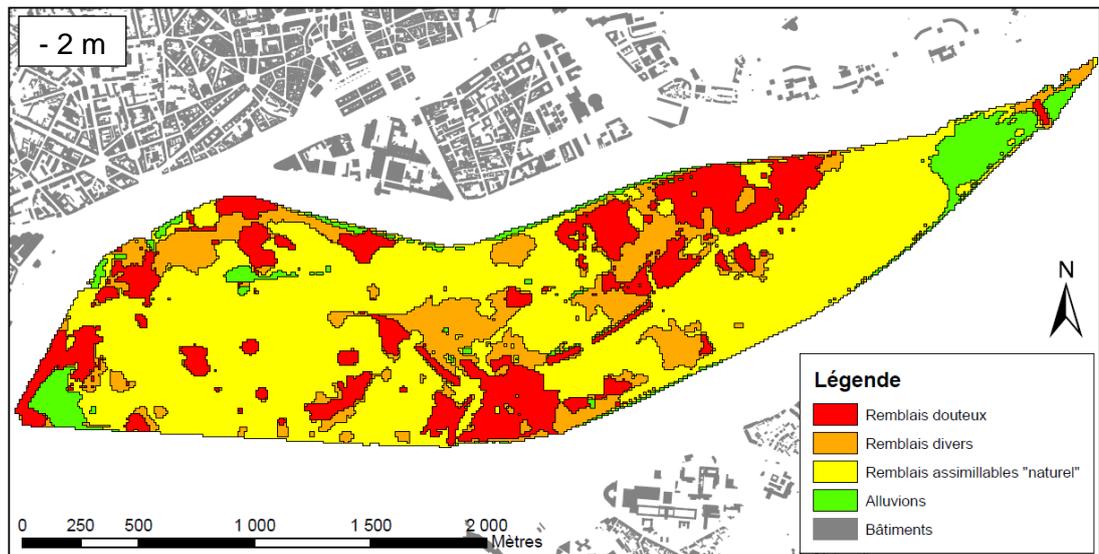


Illustration 27 : Modèle 3D obtenu suite à l'interprétation des sondages





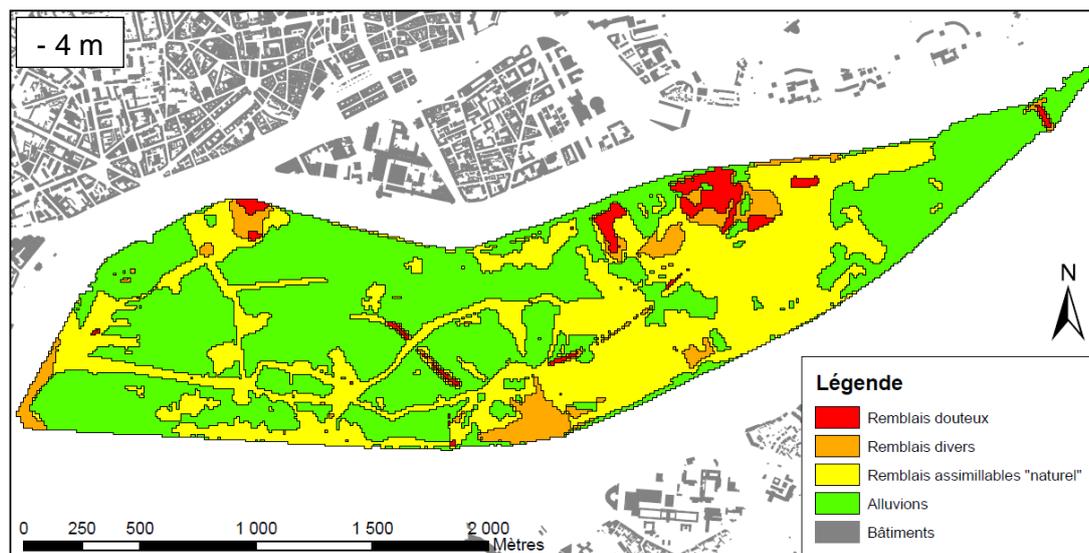


Illustration 28 : Représentation en 2D de l'extension des différents types de remblais et des alluvions en fonction de la profondeur

1 m profondeur		2 m profondeur	
	Superficie Ile		Superficie Ile
Remblais suspects	42%	Remblais suspects	19%
Remblais divers	21%	Remblais divers	16%
Remblais assimilés naturels	35%	Remblais assimilés naturels	60%
Alluvions	2%	Alluvions	6%

3 m profondeur		5 m profondeur	
	Superficie Ile		Superficie Ile
Remblais suspects	7%	Remblais suspects	1%
Remblais divers	9%	Remblais divers	3%
Remblais assimilés naturels	66%	Remblais assimilés naturels	24%
Alluvions	18%	Alluvions	72%

Tableau 4 : Proportion de type de matériaux à l'échelle de l'île de Nantes pour différentes profondeurs

5.2. FONDS GEOCHIMIQUES

Les résultats présentés dans ce chapitre ont été obtenus en utilisant la méthodologie générale pour la détermination des fonds géochimiques naturel ou anthropisé décrite dans le §3.2.2 et en Annexe 6.

5.2.1. Fond géochimique naturel

Les statistiques établies à partir des données acquises sur les alluvions peu ou pas anthropisées de la pointe est de l'île de Nantes et de l'île Héron sont détaillées en Annexe 6. Le fond géochimique naturel ou peu anthropisé, considéré équivalent au 90^{ème} percentile (D90) et présenté dans le Tableau 5, servira d'élément de comparaison pour la suite.

Les valeurs obtenues pour l'antimoine (Sb) et le molybdène (Mo) correspondent aux limites de quantification (5 mg/kg MS). Elles seront considérées avec précaution pour la suite car celles-ci sont plus élevées que les limites usuellement indiquées dans la base de données.

Sb	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Zn
<5	28	170	0.4	49	24	0,08	<5	32	54	132

Naphtalène	Benzo(a)pyrène	Somme 16 HAP	Total C10-C40
0,03	0,09	1	22

Tableau 5 : 90^{ème} percentile par paramètre analysé dans les 19 échantillons d'alluvions peu ou pas anthropisés de la pointe est de l'île de Nantes et de l'île Héron (valeurs en mg/kg MS). En italique non gras, teneurs correspondant aux limites de quantification.

5.2.2. Fond géochimique anthropisé

Les statistiques établies sur les données jugées représentatives de chaque type de terrain (échantillons rattachés à la typologie de matériaux, écrémage pour éliminer les pollutions ponctuelles, cf. §3.2.2.) sont détaillées en Annexe 6, les 90^{ème} percentiles (D90) étant synthétisés dans le Tableau 6.

	Sb	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Zn
T4 (0-5 m)	8,5	78	160	1.4	40	110	0,4	2,4	43	326	512
T3 (0-5 m)	4,0	51	50	0,5	23	88	0,2	1,5	18	173	168
T2 (0-5 m)	1,2	23	63	0,4	21	20	0,1	0,8	21	45	89
T1 (0-5 m)	2,3	32	200	0,4	57	21	0,1	0,7	36	40	110

	Naphta-lène	Benzo(a)pyrène	Somme 16 HAP	Total C10-C40	Ben-zène	Toluè-ne	Ethyl-benzène	Xylè-nes	Trichloroéthylène	Chloru-re de vinyle	Somme PCBi
T4 (0-5 m)	0,57	6	34	310	0,14	0,27	0.1	0.31	0.13	0.1	0.07
T3 (0-5 m)	0,22	2,6	20	170	0,1	0,1	0.1	0.1	0.07	0.03	0.07
T2 (0-5 m)	0,05	0,49	6,6	69	0,1	0,1	0.1	0.05	0.05	0.03	0.014
T1 (0-5 m)	0,05	0,19	2,2	54	0,05	0,05	0.05	0.05	0.02	0.02	0.014

Tableau 6 : 90^{ème} percentiles (D90) obtenus à partir des données représentatives de contaminations anthropiques diffuses (et de présence naturelle) par paramètre analysé et par type de remblai défini sur l'île de Nantes (T4 : douteux, T3 : divers, T2 : assimilés naturels) et pour les alluvions (T1) (valeurs en mg/kg MS). En italique, valeurs inférieures à la limite de quantification

	Sb	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Zn
Alluvions Héron - Crapa	<5	28	170	0,4	49	24	0,08	<5	32	54	132
T1 (0-5 m)	2,3	32	200	0,4	57	21	0,1	0,7	36	40	110

	Naphtalène	Benzo(a)pyrène	Somme 16 HAP	Total C10-C40
Alluvions Héron - Crapa	<0,03	0,09	1	22
T1 (0-5 m)	0,05	0,19	2,2	54

Tableau 7 : Comparaison des 90^{ème} percentiles (D90) obtenus pour les alluvions prélevés à la pointe Est de l'île de Nantes et sur l'île Héron avec ceux des alluvions prélevés dans les diagnostics de pollution (valeurs en mg/kg MS).

La comparaison des D90 obtenus pour les alluvions prélevées à la pointe est de l'île de Nantes et sur l'île Héron avec ceux des alluvions prélevées dans les diagnostics de pollution montre de fortes similarités pour les éléments traces métalliques (Tableau 7). Les limites de quantification étant plus précises pour l'antimoine (Sb) et le molybdène (Mo) sur les alluvions prélevés dans les diagnostics de pollution, les 90^{èmes} percentiles (D90) obtenus sont retenus par la suite comme valeur de référence. Pour les paramètres organiques, les D90 apparaissent plus élevés, ce qui indique un niveau de pollutions plus marqué.

Le calcul d'un fond géochimique anthropisé global s'est heurté à l'hétérogénéité des matériaux présents sur l'île de Nantes. En particulier, les remblais douteux (T4) montrent des D90 nettement plus élevés que les autres types de remblais et les alluvions pour plusieurs paramètres (Pb, Zn, Somme 16 HAP, Total C₁₀-C₄₀, ...). Il n'est ainsi pas paru pertinent d'intégrer ces remblais dans le calcul d'un fond géochimique global.

En outre, les remblais assimilés naturels (sables hydrauliques) étant particulièrement « propres », avec des teneurs en éléments traces métalliques inférieures à celles des alluvions, et très présents sur l'île, il n'est pas apparu pertinent de les intégrer dans le calcul d'un fond géochimique anthropisé global.

Sur cette base, les fonds géochimiques, supposés équivalents au D90, ont été maintenus par type de terrain, remblais assimilés naturels et remblais divers (donc anthropisés) en particulier. Compte-tenu de la qualité chimiquement médiocre des remblais douteux, il n'a pas été considéré de fond géochimique spécifique pour ces derniers.

5.2.3. Limites et axes de réflexions

Les valeurs de fond géochimique ainsi calculées présentent certaines limites d'un point de vue méthodologique :

a) la représentativité des données n'a pu être que partiellement vérifiée :

Les données utilisées ont été acquises à d'autres fins que la détermination de fonds géochimiques. Les données intégrées à la BD-analyses ne correspondant pas à une stratégie et méthodologie d'échantillonnage dédiée spécifiquement à la détermination d'un fond géochimique urbain, des biais d'interprétation sont possibles. Ainsi, l'utilisation de seuils d'écramage pour sélectionner les données correspondant à des pollutions anthropiques « diffuses » ou à des teneurs naturelles, et éliminer les pollutions ponctuelles constitue une première approche.

En outre, la densité de données est très variable sur le secteur d'étude : elle est très forte dans certains secteurs réaménagés, et très faible sur certains secteurs non réaménagés ou aménagés de longue date. Les calculs de fond géochimique réalisés ici ne prennent pas en compte ces différences de densité. Celles-ci peuvent engendrer une surreprésentation de certaines données ou au contraire une sous-représentation d'autres données.

Néanmoins, les calculs menés à la fois avec un jeu de données partiel et un jeu de données complet (palliant à des blancs sur certaines zones) aboutissent à des valeurs similaires. Une certaine représentativité apparaît donc malgré tout assurée, et les teneurs obtenues semblent pouvoir être utilisées d'un point de vue opérationnel.

Par ailleurs, compte-tenu de l'influence du jeu de données sur les calculs statistiques (cf. METOTRASS, Le Guern et *al.*, 2013), La géostatistique pourrait être un outil intéressant à mettre en œuvre pour affiner les résultats obtenus.

b) L'utilisation de seuils correspondant au 90^{ème} percentile (comme cela est préconisé dans la norme ISO/DIS 19258 en cours de révision pour déterminer le fond géochimique) pose question pour la gestion des terres excavées. Dans le cas où aucune anomalie géochimique n'existe, considérer ce seuil revient à admettre que 10 % des terres présentant pourtant des teneurs usuelles ne peuvent être réutilisées sur des terrains d'une même qualité géochimique et devraient être envoyées en installation de stockage de déchets. Il est apparu ainsi pertinent de s'intéresser au concept de compatibilité de fond géochimique, que l'on peut définir comme une absence d'anomalie géochimique. Sur cette base, on s'est intéressé au seuil d'anomalie géochimique (c'est-à-dire à la vibrisse supérieure), tel que défini en Annexe 6.

5.3. SEUILS D'ANOMALIE PAR TYPE DE TERRAIN

Les résultats présentés ci-après ont été obtenus selon la méthodologie décrite au §3.2.2 et en Annexe 6.

Les Tableau 8 et Tableau 9 comparent les 90^{èmes} percentiles (D90) et les vibrisses supérieures obtenues sur les différents types de terrain définis. Pour mémoire, on considère que les vibrisses supérieures représentent des seuils d'anomalie. Celles-ci sont supposées être supérieures aux 90^{èmes} percentiles (D90) (cf. postulat de base en Annexe 6). Les résultats statistiques complémentaires sont proposés en Annexe 6.

		Sb	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Alluvions Héron-Crapa	D90	<5	28	170	0.5	49	24	0.08	52	54	132
	Vibrisse sup	<5	48	257	0.6	80	36	<0.05	52	74	188
T1 (0-5m)	D90	2.3	32	200	0.4	57	21	0.11	36	40	110
	Vibrisse sup	3.4	45	336	0.6	90	36	0.18	51	67	171
T2 (0-5m)	D90	<1	23	63	0.4	21	20	0.10	21	45	89
	Vibrisse sup	<1	22	61	0.25	20	12	0.05	20	27	70
T3 (0-2,5m)	D90	4.1	55	50	0.5	23	91	0.2	19	172	172
	Vibrisse sup	3.2	70	70	0.7	23	107	0.2	22	131	183

Tableau 8 : D90 et vibrisses supérieures (mg/kg MS) calculés par typologie de matériau susceptible d'être excavé pour les métaux et métalloïdes analysés sur la fraction solide (en italique, valeur correspondant à la limite de quantification, en rouge valeurs ayant suscité des discussions, en gras valeurs retenues pour définir les seuils de compatibilité géochimique)

		Naphta-lène	Benzo(a)py-rène	Somme 16 HAP	Total C10-C40	Ben-zène	Toluè-ne	Ethyl-ben-zène	Xylè-nes	Trichl-oro-éthyl-ène	Chlo-rure de vinyle	Somme 7 PCBi	Indice phénol
Alluvions Héron-Crapa	D90		0.09	1.2	22							0.014	0.1
	Vibrisse sup		0.16	2.0	28							0.014	0.1
T1 (0-5m)	D90	0.05	0.19	2.2	54	0.05	0.05	0.05	0.05	0.02	0.02	0.014	0.1
	Vibrisse sup	0.08	0.29	3.6	30	0.05	0.05	0.05	0.05	0.02	0.02	0.014	0.1
T2 (0-5m)	D90	0.05	0.5	7	69	0.10	0.10	0.10	0.05	0.05	0.03	0.014	0.2
	Vibrisse sup	0.095	0.25	4	32.5	0.05	0.07	0.05	0.05	0.02	0.02	0.014	0.1
T3 (0-2,5m)	D90	0.16	1.7	20	170	0.10	0.10	0.10	0.09	0.11	0.03	0.07	0.50
	Vibrisse sup	0.12	1.9	20	202	0.05	0.10	0.05	0.05	0.10	0.02	0.15	0.35

Tableau 9 : D90 et vibrisses supérieures (mg/kg MS) calculés par typologie de matériau susceptible d'être excavé pour les paramètres organiques analysés sur la fraction solide (en italique, valeur correspondant à la limite de quantification, en rouge valeurs ayant suscité des discussions, en gras valeurs retenues pour définir les seuils de compatibilité géochimique)

Pour les alluvions de la pointe est de l'île de Nantes (Crapa) et de l'île Héron, le postulat que la vibrisse supérieure est supérieure au 90^{ème} percentile (D90) est bien vérifié pour l'ensemble des paramètres. Il en est de même pour une majorité de paramètres sur l'ensemble des types de terrain.

Pour quelques paramètres, les vibrisses supérieures apparaissent néanmoins inférieures au D90, ce qui est contraire au postulat de base (cf. annexe 6). C'est le cas notamment pour : Total C₁₀-C₄₀ (hydrocarbures) dans les alluvions analysées par les bureaux d'études (C1 en vert foncé dans le tableau) et les remblais assimilés naturels (C2 en jaune dans le tableau), HAP dans les remblais assimilés naturels (C2), indice phénol et plomb (Pb) dans les remblais divers (C3 en orange dans le tableau). Pour expliquer ces constats, on peut supposer un lien avec la présence de pollutions diffuses anthropiques.

5.4. PROPOSITION DE SEUILS DE COMPATIBILITE DE FOND GEOCHIMIQUE ANTHROPISE

Compte-tenu des observations précédentes, et de la même manière que le 90^{ème} percentile, les seuils d'anomalie ainsi définis à l'aide des vibrisses supérieures peuvent amener à considérer comme non compatibles des terres qui auraient en fait des teneurs anthropisées usuelles au droit de l'île de Nantes. Sur cette base, le BRGM a retenu la valeur maximale entre la vibrisse supérieure et le 90^{ème} percentile (D90), comme seuil par typologie de matériau (hors remblais suspects) que l'on peut qualifier de seuils de compatibilité géochimique (Tableau 10 et Tableau 11). Pour les métaux et métalloïdes, le BRGM s'est appuyé en priorité sur les seuils calculés pour les alluvions de l'île de Nantes en tant que matériaux naturels assez peu anthropisés. Ils ont ainsi été conservés comme valeur de référence pour les remblais assimilés naturels et les remblais divers, dès lors que les valeurs des 90^{èmes} percentiles (D90) et vibrisses supérieures étaient inférieures aux valeurs pour les alluvions.

A titre exploratoire, les seuils de compatibilité obtenus ont été confrontés à d'autres seuils, déterminés dans le cadre d'études environnementales (cf. Tableau 10 et Tableau 11). Pour autant, l'objectif de l'ensemble de ces études reste différent.

Pour les métaux et métalloïdes (Tableau 10), on constate que les seuils de compatibilité pour les remblais divers (T3) au droit de l'île de Nantes posent question pour l'arsenic (As) et le plomb (Pb) et dans une moindre mesure pour le cuivre (Cu), car ils apparaissent relativement élevés par rapport aux seuils définis dans le cadre d'autres études. Ces concentrations peuvent s'expliquer par une influence d'activités anthropiques, dont l'apport en remblai de déblais composés de micaschistes naturellement riches en As (fréquents dans le contexte local).

Seuil de compatibilité géochimique (mg/kg_MS)	Sb	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Seuil 1 - Alluvions	3.4	50	340	0.6	90	40	0.2	55	75	190
Seuil 2 - Remblais assimilés naturels	3.4	50	340	0.6	90	40	0.2	55	75	190
Seuil 3 - Remblais divers	4.1	70	340	0.7	90	110	0.2	55	170	190
Seuils sanitaires jardins										
Nantes (ARS)	50								100	
Epandage boues STEP				2	150	100	1	50	100	300
Teneurs usuelles sols français (Aspitet)	25		0,45-0,7		90	20	60		50-60	100

Tableau 10 : Seuils de compatibilité géochimique proposés pour une sélection de métaux et métalloïdes sur l'île de Nantes (en rouge, valeurs supérieures à certains seuils de référence ou posant question, en italique valeurs correspondant à des limites de quantification, en gras valeurs évoluant par rapport aux autres seuils)

Seuil de compatibilité géochimique local(mg/kg_MS)	Naph-talène	Benzo(a)py-rène	Somme 16 HAP	Total C10-C40	Ben-zène	Toluène	Ethyl-benzène	Xylènes	Trichloroéthylène	Chlorure de vinyle	Somme 7 PCBi	Indice phé-nol
Seuil 1 - Alluvions	0.08	0.3	3.6	55	0.05	0.05	0.05	0.05	0.02	0.02	0.014	0.1
Seuil 2 - Remblais assimilés naturels	0.1	0.5	7	70	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	0.03	0.014	0.2
Seuil 3 - Remblais divers	0.16	1.9	20	200	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.03	0.15	0.5
VS2 (TEX)	1.5			500	0.3				5	1.5	0.1	20
VS1 (TEX)	0.05			50	0.05				0.9	0.3	0.1	8
Seuil ISDI			50	500								1

Tableau 11 : Seuils de compatibilité géochimique proposés pour une sélection de paramètres organiques sur l'île de Nantes (en rouge, valeurs supérieures à certains seuils de référence ou posant question, en italique valeurs correspondant à des limites de quantification, en gras valeurs évoluant par rapport aux autres seuils)

Pour les paramètres organiques (Tableau 11), les seuils de compatibilité géochimique pour le naphthalène (pour les 3 typologies de matériaux) et les hydrocarbures (Total C₁₀-C₄₀) pour 2 typologies de matériaux, s'avèrent supérieurs aux seuils sanitaires définis dans le guide de réutilisation des terres excavées (Blanc et al, 2012), pour une réutilisation sous bâtiment (VS1).

Néanmoins, le BRGM précise que la méthodologie d'approche et certains seuils sanitaires de réutilisation des terres excavées (somme des TEX, naphthalène, tétrachloroéthylène, et trichloroéthylène notamment) sont en cours de redéfinition (revus à la hausse) dans le cadre de la révision du guide de gestion des terres excavées. Une nouvelle comparaison devra alors être effectuée ultérieurement, en cohérence avec cette nouvelle version du guide.

En cette 1ère phase, ces éléments permettent d'aboutir à un schéma de principe local prenant appui sur le jeu de données « fond géochimique » et définissant la règle de gestion des terres excavées pour leur réutilisation sur l'île (Illustration 29). Le schéma proposé ici correspond au schéma discuté avec les bureaux d'études SSP locaux et partagé avec les services de l'Etat (DREAL, ARS), mis à jour en intégrant les évolutions proposées dans le cadre de la révision du guide de gestion des terres excavées.

Du fait de la présence systématique de remblais, l'île rentrera dans son ensemble dans la démarche du guide révisé de gestion des terres excavées. Celui-ci propose 3 niveaux de seuils :

- Niveau 1 : Si les teneurs en polluants sont inférieures aux seuils nationaux (métaux, POP, volatiles), les terres peuvent être réutilisées sans contrainte ;
- Niveau 2 : si les teneurs sont supérieures aux seuils nationaux et inférieures aux seuils de fond géochimique locaux, la réutilisation peut se faire sans contrainte sous réserve a) que les résultats des tests de lixiviation soient inférieurs aux seuils ISDI ou aux seuils locaux définis à partir d'Hydrotex, et b) que les seuils sanitaires nationaux (VS1, VS2, VS3) ou que les seuils locaux calculés en fonction des usages soient respectés ;
- Niveau 3 : En cas de dépassement des seuils de fond géochimique locaux, une approche au cas par cas doit être menée, en respectant la compatibilité géochimique avec le site receveur (avec possibilité de 5 substances > 50 % par rapport au site récepteur), et en vérifiant les impacts sur les eaux souterraines et les enjeux sanitaires.

Les seuils de compatibilité géochimiques locaux calculés pour l'île de Nantes sont supérieurs pour nombres de paramètres aux seuils de fond géochimique nationaux. Les niveaux 2 et 3 s'appliquent donc. Sur la partie Est de l'île, compte-tenu des connaissances acquises sur les matériaux en place (sables hydrauliques et alluvions), on peut considérer que ces matériaux sont réutilisables sans contrainte sur le reste de l'île, sauf bien sûr en cas d'anomalie organoleptique incitant à vérifier leur qualité chimique.

Dans la mesure où certains seuils ISDI peuvent être dépassés (cf. §5.5), des valeurs de référence locale, adaptées au contexte de l'île de Nantes vis-à-vis des impacts sur les eaux souterraines, ont été calculés à partir d'Hydrotex (Tableau 12). Dans ce cadre, il a été considéré une prise d'eau pour usage industriel à 400 m de distance (Bas-Chantenay). La comparaison avec le jeu de données disponibles montre peu de dépassement de ces valeurs. Ce critère apparaît ainsi peu limitatif pour la valorisation des terres sur l'île de Nantes.

Dans le cadre de la phase 2, les seuils sanitaires de réutilisation devront être calculés selon les nouveaux usages développés dans le cadre du projet urbain, en prenant en compte deux à trois scénarii génériques (aménagement mixte, voirie et espace public minéraux, espace planté), constituant ainsi le jeu de seuils définitivement applicable dans le schéma de réutilisation des terres sur l'île de Nantes, dans le respect des prescriptions du guide révisé de réutilisation des terres.

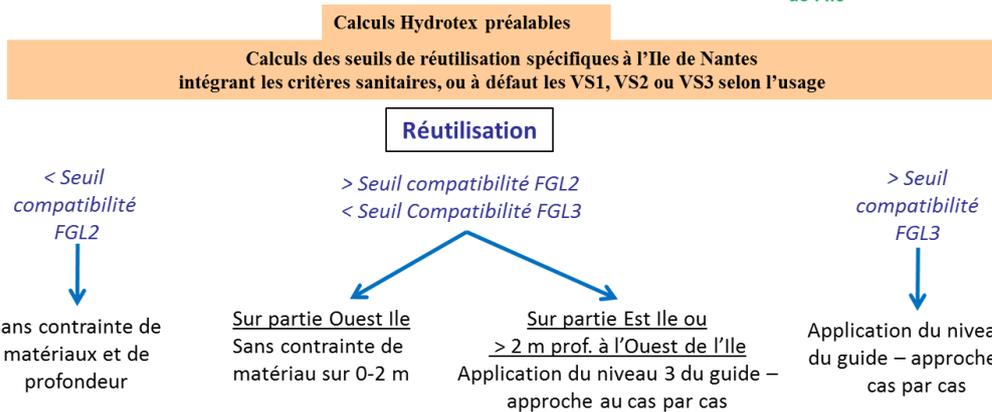
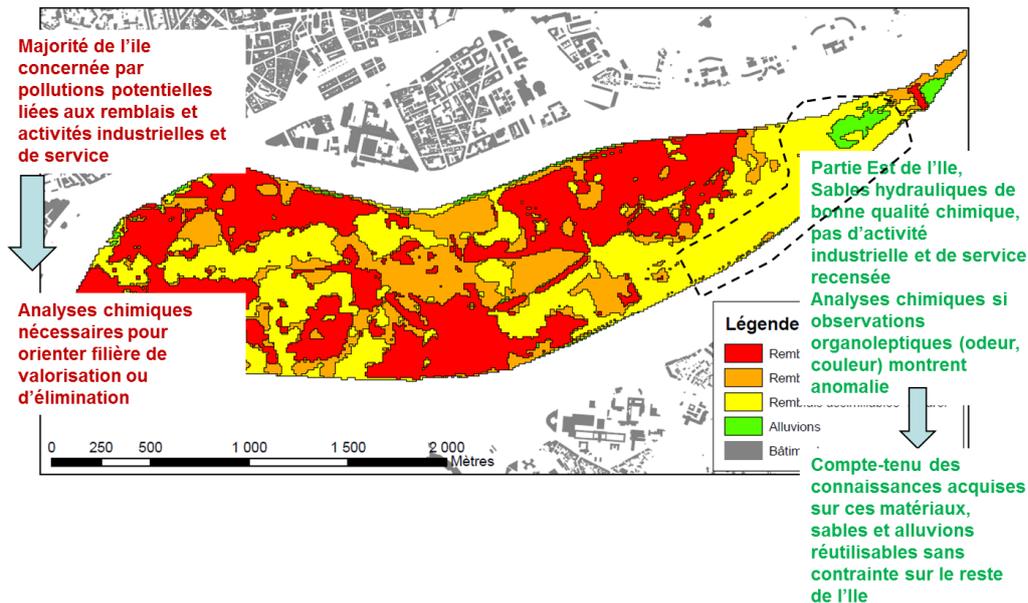


Illustration 29 : Schéma de principe de réutilisation des terres excavées sur l'île de Nantes sur la base des critères techniques (FGL : fond géochimique local). Les seuils de compatibilité géochimiques indiqués dans ce rapport nécessiteront d'être complétés en considérant également la compatibilité hydrique (cf ; Tab. 12) et sanitaire (cf. Phase 2).

	Sb	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	Se	sulfates*	chlorures*	fluorures
Seuil Hydrotex (mg/kg_MS)	0.3	0.6	46	0.3	3	133	0.06	0.7	0.6	330	0.6	16600	16600	99
Seuil ISDI (mg/kg_MS)	0.06	0.5	20	0.04	0.5	2	0.01	0.4	0.5	4	0.1	1000	800	10
Nb teneurs > seuil Hydrotex / Nb analyses	11 /474	15 /453	0 /425	1 /440	0 /439	0 /439	0 /436	0 /439	7 /443	0 /438	0 /433	0 /386	0 /392	2/462
Max teneurs (mg/kg_MS)	15	7.1	1.7	1.5	0.4	14	0.01	0.59	1.05	27	0.45	15800	415	100 ; 285

Tableau 12 : Seuils Hydrotex calculés et comparaison avec seuils ISDI constatés sur le jeu de données disponibles et les valeurs maximales observées (*cf. Arrêté du 12 décembre 2014)

5.5. ANALYSE DES SEUILS ISDI

Compte-tenu des excédents de terres attendus par rapport aux possibilités de réutilisation, la Samoa a demandé une analyse des seuils ISDI¹¹ afin de vérifier si des dépassements constatés pourraient être attribués à des anomalies naturelles de fond géochimique. Si tel était le cas, des dérogations pourraient être demandées par la SAMOA pour permettre dans le futur, l'accueil des terres correspondantes en ISDI de fond géochimique compatible, évitant ainsi d'encombrer les ISDND¹².

Le contexte géochimique de la Loire-Atlantique (Le Guern et *al.*, 2013), montre que des fonds géochimiques naturellement élevés en métaux et métalloïdes sont possibles dans les roches de socle. Les alluvions sont également susceptibles de présenter des fonds géochimiques élevés (Le Guern et *al.*, 2007). De ce fait, une analyse critique des seuils ISDI a été réalisée à partir du jeu de données d'analyses constitué (cf. BD-Analyses). Parmi l'ensemble des critères ISDI, les plus discriminants, pour les terrains de l'île de Nantes, sont par ordre décroissant (Tableau 13) : l'antimoine lixivié, la fraction hydrocarbure C₁₀-C₄₀, la somme des 16 HAP, les fluorures lixiviés, les sulfates et l'arsenic lixiviés.

Solides											
COHV		BTEX		Total C10-C40				PCBi		HAP16	
0.3%		0.04%		2.5%				0.08%		1.9%	
Eluat											
Synthèse Chlorures Sulfates FS				Fluorures				Indice Phenol			
1.1%				1.9%				0.1%			
Sb_L	As_L	Ba_	Cd_L	Cr_L	Cu_L	Hg_L	Mo_L	Ni_L	Pb_L	Se_L	Zn_L
3.2%	0.8%	0.0%	0.2%	0.0%	0.1%	0.3%	0.1%	0.0%	0.4%	0.1%	0.3%
Synthèse COT (solide et éluat)											
0.1%											

Tableau 13 : Synthèse des paramètres déclassant à eux seuls l'échantillon vs seuils ISDI, dans l'ensemble du jeu de données d'analyses disponible (incluant les pollutions ponctuelles)

Les dépassements apparaissent pour l'essentiel d'origine anthropique. Ils sont liés notamment aux remblais intrinsèquement les plus contaminés (remblais suspects). Quand ils concernent d'autres types de remblais, les dépassements sont généralement positionnés dans les deux premiers mètres de profondeur sous la topographie actuelle. Ils peuvent alors être corrélés à des sources potentielles de pollutions en surface (liées aux activités industrielles et de service ou à des remblais suspects). C'est le cas notamment pour les fluorures et les sulfates (Annexe 7). Pour les métaux et

¹¹ ISDI : Installation de stockage de déchets inertes

¹² ISDND : Installation de stockage de déchets non dangereux

métalloïdes, les dépassements sont généralement corrélés à des teneurs importantes dans la fraction solide. Ce constat est illustré pour l'antimoine en Illustration 30 et pour l'arsenic en Annexe 7.

Pour l'antimoine lixivié (Illustration 30), une forte présomption d'origine naturelle ressort cependant pour plusieurs échantillons d'alluvions (tranche 3-5 m). Ceux-ci dépassent en effet le seuil de lixiviation de l'antimoine (0,06 mg/kg_MS) pour l'acceptation en ISDI, sans pour autant qu'une source potentielle ou avérée de pollution n'ait pu être identifiée en surface. Les teneurs en antimoine dans la fraction solide sont en outre faibles dans ces échantillons. D'après la base de données, 9 % des terres caractérisées sur l'ensemble de l'île, déclassées à cause de ce seul paramètre pour un stockage en ISDI, montrent des teneurs en antimoine lixivié entre 0,06 et 0,1 mg/kg_MS. Pour une des opérations d'aménagement du sud-ouest de l'île de Nantes, les terres correspondant à ce critère représentent environ 8 000 m³, dont l'essentiel est situé entre 3 et 4 m de profondeur.

Une démarche de comparaison des fonds géochimiques d'ISDI du secteur est en cours par la Samoa. Avec 100 000 t/an de terres excavées pour le sud-ouest de l'île de Nantes durant les 15 prochaines années, la possibilité de stocker une partie des terres excavées excédentaires en ISDI plutôt qu'en ISDND représente un enjeu économique important.

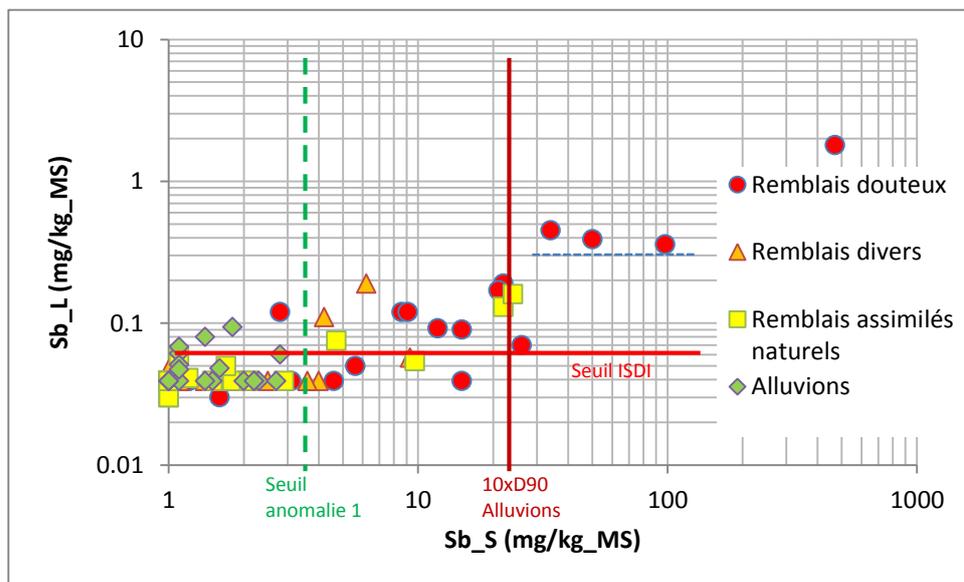


Illustration 30 : Distribution des teneurs en antimoine lixivié rapportées aux teneurs sur brut (échelle logarithmique)

5.6. COMPATIBILITE ET VOLUMES PREVISIONNELS DANS LES PRINCIPAUX SECTEURS D'AMENAGEMENT

En s'appuyant sur les seuils de compatibilité de fond géochimique anthropisé définis au §5.3, le volume de terres par catégorie de matériaux a été évalué pour les secteurs d'aménagement suffisamment renseignés. C'est le cas en particulier du secteur sud-ouest présenté ici.

Le calcul des volumes a été effectué sous GDM, par la méthode de Thyssen, en considérant des tranches d'1 m d'épaisseur par analogie avec les travaux d'excavation. Les seuils de compatibilité géochimique pour les remblais assimilés naturels étant proches des seuils pour les alluvions, le seuil pour les remblais assimilés naturels a été considéré par la suite comme valeurs de référence. Les résultats sont présentés dans l'illustration 31 et dans le Tableau 14.

Sur le premier mètre de profondeur, plus de la moitié des matériaux du secteur sud-ouest dépassent le seuil de compatibilité géochimique des remblais divers (seuil 3). Cette proportion décroît avec la profondeur (17 % entre 3 et 4 m de profondeur). Ainsi, la proportion de matériaux dont la qualité chimique est inférieure au seuil de compatibilité géochimique des remblais assimilés naturels (seuil 2) croît avec la profondeur (33 % sur la tranche 0-1 m, 80 % sur la tranche 3-4 m de profondeur).

Focus sur le secteur du Sud-Ouest

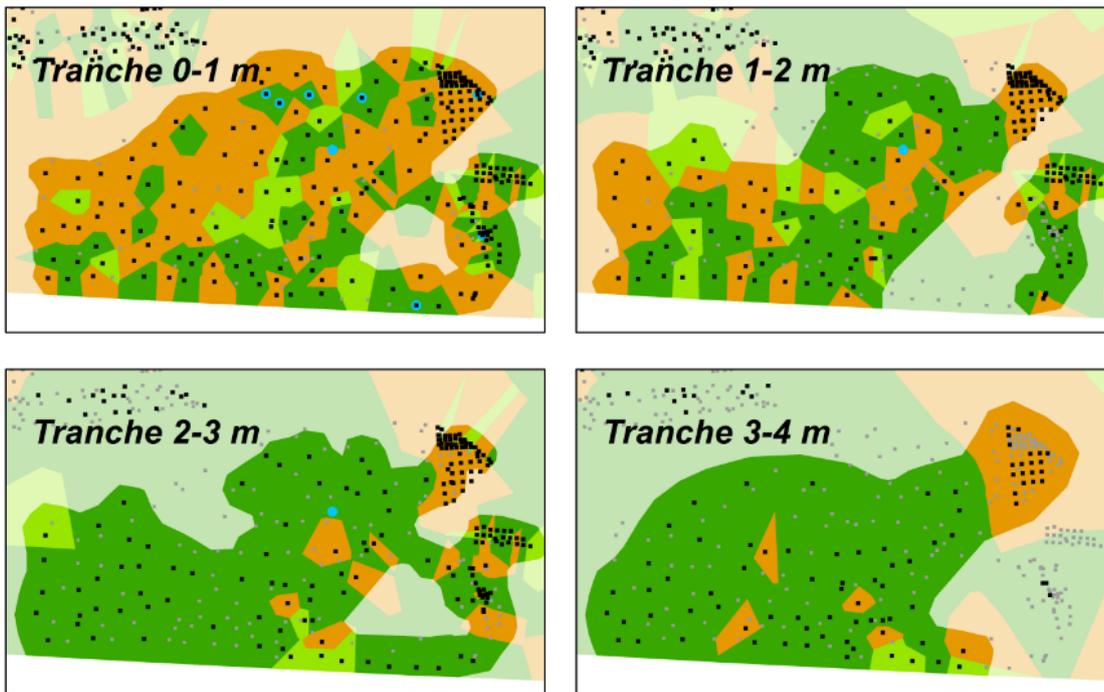
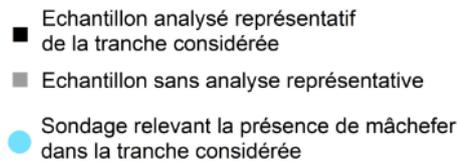
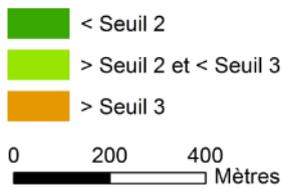


Illustration 31 : Approche simplifiée de la compatibilité géochimique des terres analysées avec les seuils définis pour les remblais assimilés naturels (seuil 2) et les remblais divers (seuil 3)

En surface, le dépassement du seuil de compatibilité pour les remblais divers s'explique par la présence de remblais suspects (Illustration 28), mais aussi par la présence de pollutions ponctuelles. L'emprise du futur CHU, au sein du secteur sud-ouest, montre une plus forte proportion de matériaux dont la qualité chimique est cohérente avec celle des alluvions, par comparaison avec l'enveloppe sud-ouest de l'île (5 à 11 % de plus par tranche).

0-1 m					1-2 m				
Enveloppe		CHU			Enveloppe		CHU		
Critère	M3	%	M3	%	Critère	M3	%	M3	%
< Seuil 2	139 610	33	37 359	37	< Seuil 2	182 243	53	61 070	62
> Seuil 2 et < Seuil 3	47 849	11	18 236	18	> Seuil 2 et < Seuil 3	44 317	13	11 172	11
> Seuil 3	237 218	56	45 800	45	> Seuil 3	115 140	34	26 999	27
Total	424 677	100	101 395	100	Total	341 700	100	99 241	100

2-3 m					3-4 m				
Enveloppe		CHU			Enveloppe		CHU		
Critère	M3	%	M3	%	Critère	M3	%	M3	%
< Seuil 2	302 791	81	84 386	87	< Seuil 2	283 870	80	91 982	91
> Seuil 2 et < Seuil 3	22 754	6	2 722	3	> Seuil 2 et < Seuil 3	8 380	2	51	0
> Seuil 3	46 479	12	9 873	10	> Seuil 3	61 228	17	9 363	9
Total	372 024	100	96 981	100	Total	353 478	100	101 396	100

Tableau 14 : Volumes de terre (m³) compatibles avec les seuils de compatibilité géochimique définis pour les remblais assimilés naturels (seuil 2) et les remblais divers (seuil 3), dans le sud-ouest de l'île de Nantes, calculés sous GDM par la méthode de Thyssen (cf. carte).

Sur la base du schéma de principe de réutilisation (cf. §5.4, Illustration 29), et sous réserve que les critères hydriques et sanitaires seront également respectés, l'interprétation opérationnelle de ces résultats est la suivante :

- réutilisation sans contrainte lorsque les teneurs sont inférieures au seuil de compatibilité géochimique des remblais assimilés naturels (< seuil 2, en vert foncé dans l'illustration 32 et dans le Tableau 14) ; idem lorsque les teneurs sont inférieures au seuil de compatibilité géochimique défini pour les alluvions (seuil 1) ;
- si les teneurs sont comprises entre les seuils de compatibilité géochimique définis pour les remblais assimilés naturels et les remblais divers (>seuil 2 et < seuil 3, vert clair), réutilisation sans contrainte (sous couverture) en surface (0-2 m) sur le sud-ouest de l'île (du fait de la présence massive de remblais douteux) ou approche au cas par cas au-delà de 2 m de profondeur (du fait de la présence de remblais assimilés naturels de qualité géochimique globalement bonne et du rapprochement avec la surface de la nappe au-delà de 2 m de profondeur) ;
- au cas par cas après vérification des 3 critères du guide en cas de dépassement des seuils de compatibilité géochimique pour les remblais divers (> seuil 3, en orange).

Le volume de matériaux pouvant être réutilisés sans contrainte apparaît ainsi plus important au niveau du CHU (qu'au niveau de l'enveloppe sud-ouest). Sur cette emprise, le volume total de terres réutilisables sans contrainte serait ainsi de l'ordre de

275 000 m³ sur les 4 premiers mètres de profondeur. Le volume de terres nécessitant une vérification au cas par cas serait de l'ordre de 92 000 m³.

Compte-tenu des volumes importants de terres à excaver, un excès de terres est attendu par rapport aux perspectives de réutilisation. C'est pourquoi les volumes prévisionnels acceptables en ISDI (et autres ISD) ont été également calculés sur le sud-ouest de l'île (Illustration 32, Tableau 15). Le secteur du CHU montre ainsi une plus forte proportion de matériaux acceptables en ISDI par rapport à l'enveloppe sud-ouest. Comme on peut le présager à partir du modèle 3D, la proportion de matériaux acceptables en ISDI augmente avec la profondeur, passant pour le CHU de 72 % sur la tranche 0-1 m, à 94 % sur la tranche 2-3 m.

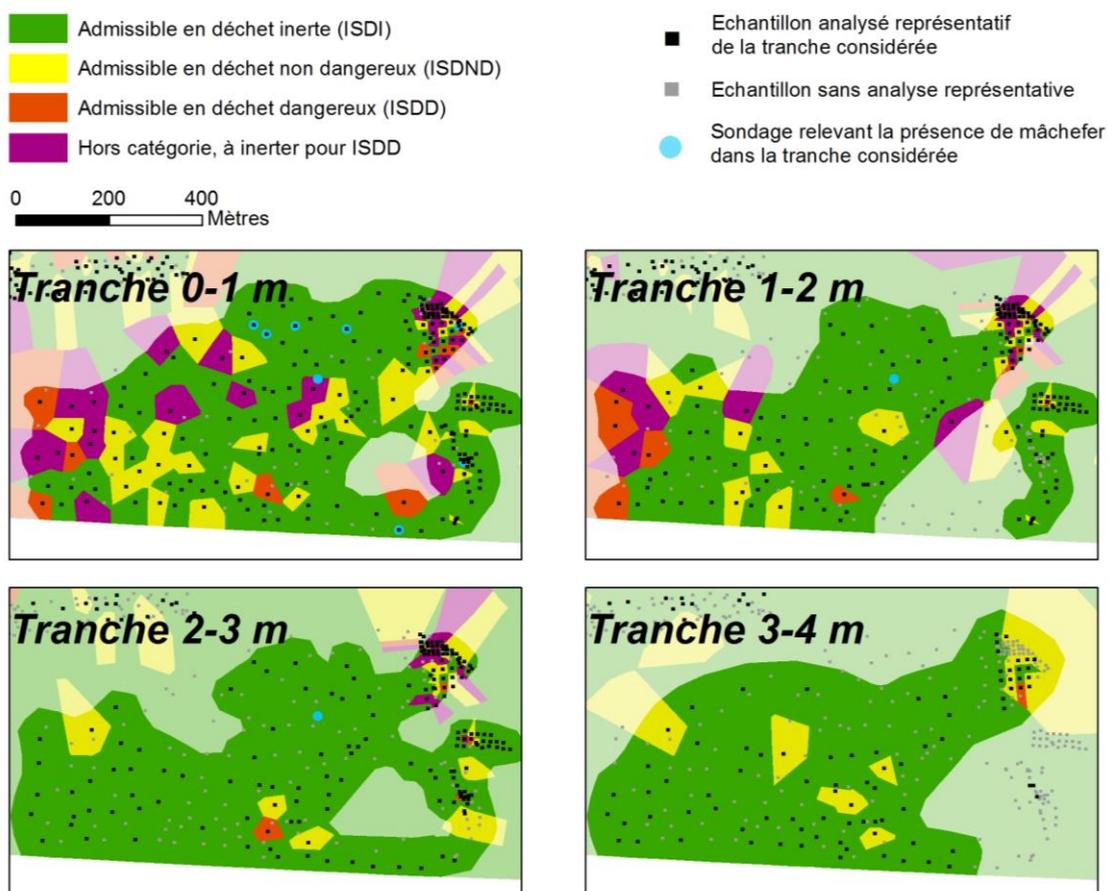


Illustration 32 : Approche simplifiée de l'acceptabilité des terres analysées dans les différentes installations de stockage de déchets (ISD) : ISDI : Installation de stockage de déchets inertes, ISDND : installation de stockage pour déchets non dangereux, ISDD : installation de stockage pour déchets dangereux, Hors catégorie : à inertier pour ISDD

0-1 m					1-2 m				
CRITERE	CHU		Enveloppe		CRITERE	CHU		Enveloppe	
	M3	%	M3	%		M3	%	M3	%
ISDI	72566	72	275504	65	ISDI	82006	81	253882	74
ISDND	19389	19	75021	18	ISDND	12985	13	40387	12
ISDD	2724	3	19074	4	ISDD	1632	2	19823	6
Hors champ	6716	7	55080	13	Hors champ	2618	3	27607	8
Total	101395	100	424679	100	Total	99241	98	341699	100

2-3 m					3-4 m				
CRITERE	CHU		Enveloppe		CRITERE	CHU		Enveloppe	
	M3	%	M3	%		M3	%	M3	%
ISDI	91246	90	336817	91	ISDI	87929	87	309992	88
ISDND	3280	3	26629	7	ISDND	13467	13	42534	12
ISDD	2455	2	3132	1	ISDD		0	952	0.3
Hors champ		0	5447	1	Hors champ		0		0
Total	96981	96	372025	100	Total	101395	100	353478	100

Tableau 15 : Volumes acceptables en ISD dans l'emprise du CHU et dans l'enveloppe plus large du sud-ouest de l'île de Nantes, calculés sous GDM par la méthode de Thyssen (cf. carte). ISDI : Installation de stockage de déchets inertes, ISDND : installation de stockage pour déchets non dangereux, ISDD : installation de stockage pour déchets dangereux, Hors champ : à inerte pour ISDD

Sur l'emprise du CHU, la proportion de terres acceptables en ISDI serait de l'ordre de 72 % du volume de terre total dans la tranche 0-1 m, 81 % dans la tranche 1-2 m, et de l'ordre de 90 % dans les tranches 2-3 et 3-4 m. Si l'on compare ces données avec la proportion de matériaux dont la qualité chimique est inférieure au seuil 3 (remblais divers), de l'ordre de 55 %, on constate qu'une partie des terres non compatibles avec ce seuil semblent néanmoins acceptables en ISDI.

Cette constatation peut s'expliquer par le fait que, même si le seuil 3 (remblais divers) apparaît a priori relativement élevé pour certaines substances, en particulier pour le Pb, ce métal est rarement discriminant dans les tests de lixiviation (utilisé pour évaluer l'acceptabilité des terres en ISDI). La forte proportion de matériaux acceptables en ISDI sur l'emprise du CHU peut également s'expliquer par une moindre proportion de remblais douteux (Illustration 28) et une moindre présence de pollutions ponctuelles (Illustration 32) (cf. activités industrielles et de service).

Ces résultats montrent des perspectives de réutilisation intéressantes des terres au niveau du CHU, proposé ici à titre d'illustration. Une partie des terres pourrait être réutilisée sans contrainte, une autre partie après vérification des 3 critères du guide. En particulier, les sables des remblais hydrauliques (majorité des remblais assimilés naturels), massivement présents sur l'île, semblent de par leur qualité géochimique globale et géotechnique probable propices à une réutilisation en matériau de

construction ou de remblais sur l'île. Même si une vérification de ces qualités (géochimiques et géotechniques) est nécessaire, des économies importantes liées à la réutilisation de ces matériaux apparaissent possibles.

L'interprétation de ces données donne ainsi des premiers éléments sur le potentiel de réutilisation des terres excavées au sein de l'île de Nantes.

6. Conclusion

Pour répondre aux différents objectifs du projet, de nombreux développements méthodologiques ont été nécessaires. Ils ont permis d'apporter de nombreux résultats opérationnels.

Il s'agit notamment des couches d'information géoréférencées et des bases de données associées qui vont être intégrées au SIG de la collectivité et être consultables par les différents services et les aménageurs. Les données de l'IHU peuvent ainsi être interrogées à différentes échelles et de manière variée. Les bases de données associées contenant des informations historiques (période d'activité, type d'activité, ...) et les données sources sont également interrogeables. De plus, la base de données BASIAS, outil de communication vers les citoyens par son site Internet dédié, a été mise à jour. Sur l'île de Nantes, le nombre de site recensés est ainsi passé de 94 initialement à 199 au final.

La méthodologie combinant l'IHU à la cartographie des remblais par tranche de terrain de plus en plus profonde, pour identifier les sources de pollutions potentielles et les polluants potentiels associés, a pu être validée sur l'île de Nantes grâce à la comparaison avec les pollutions avérées.

La SAMOA dispose ainsi d'un outil pour anticiper les problèmes liés aux pollutions des sols, en permettant d'ajuster le projet d'aménagement, mais aussi en anticipant la gestion des terres excavées. Cet outil mérite cependant d'être affiné sur certains points.

Les enjeux économiques liés à cette étude sont importants. Les calculs de volumes en fonction des seuils de compatibilité de fond géochimique anthropisé montrent des perspectives de réutilisation intéressantes des terres. En particulier, les sables de remblais hydrauliques (majorité des remblais assimilés naturels), massivement présents sur l'île (60 % des matériaux à 2 m de profondeur à l'échelle de l'île), semblent de par leur qualité géochimique globale et géotechnique probable propices à une réutilisation en matériau de construction ou en remblais sur l'île. Même si une vérification de ces qualités géochimiques et géotechniques est nécessaire, des économies importantes liées à la réutilisation de ces matériaux apparaissent possibles.

Certains verrous n'ont toutefois pu être levés dans le cadre du projet. Notamment, le développement de l'outil SIG visant à garder la mémoire des excavations, des qualités résiduelles de sols, et des apports de matériaux de remblai s'est heurté à des difficultés liées au faible nombre et à l'hétérogénéité des données collectées. Dans ce cadre, des propositions sont faites pour harmoniser les restitutions après travaux (DOE) et les rendre ainsi exploitables : cartes récapitulatives des zones de traitement de la pollution des sols, des zones d'excavations (avec profondeur associée), et/ou des zones d'apport de terres nouvelles (emprise horizontale et verticale), ainsi que résultats d'analyses et localisation des prélèvements (x, y, z). Par ailleurs, la caractérisation des fonds géochimiques pourrait être affinée par l'utilisation des

géostatiques. Cela nécessite toutefois des développements spécifiques, qui sont testés dans le cadre d'une thèse financée par l'Ademe.

La réflexion et le développement méthodologique réalisés dans le cadre de cette phase 1 pour proposer des seuils de compatibilité de fond géochimique permettent d'aboutir à un 1er schéma de réutilisation des terres excavées. Pour autant, les seuils de compatibilité géochimique pour certains matériaux et pour certaines substances organiques apparaissant supérieurs aux seuils sanitaires définis dans le cadre du guide de réutilisation. Une réflexion plus approfondie sur ce point est donc nécessaire, en intégrant la prise en compte du critère sanitaire et donc l'usage futur des sites récepteurs.

D'autre part, la possibilité de stocker en ISDI plutôt qu'en ISDND les 9 % de terres déclassées uniquement à cause des teneurs en antimoine lixivié (avec des teneurs entre 0,06 à 0,1 mg/kg_{MS}) représenterait environ 8 000 m³ des terres pour une des opérations d'aménagement du sud-ouest de l'île de Nantes.

Les éléments acquis au cours de cette première phase montrent l'intérêt de la réalisation de la phase 2, qui permettra de préciser les potentialités de réutilisation des terres mais surtout de calculer des seuils de réutilisation basés sur une évaluation des risques sanitaires pour des scénarii génériques, spécifiques à l'île de Nantes.

7. Bibliographie

Sources citées

Arrêté du 12 décembre 2014 relatif aux conditions d'admission des déchets inertes dans les installations relevant des rubriques 2515, 2516, 2517 et dans les installations de stockage de déchets inertes relevant de la rubrique 2760 de la nomenclature des installations classées, JORF n°0289, 14 décembre 2014, p. 21032.

AURAN - Agence d'Urbanisme de l'Agglomération Nantaise (2012) *Atlas de "l'île de Nantes"*, 172 p.

Béchennec F. (2007) *Carte géologique harmonisée du département de Loire-Atlantique*. BRGM/RP-55703-FR, 369 p., 2 fig., 2 tab., 3 pl. h.-t.

Blanc C., avec la participation de **Lefevre F.** (MEDDTL), **Boissard G.**, **Scamps M.** (BRGM) et **Hazebrouck B.** (INERIS) (2012) *Guide de réutilisation hors site des terres excavées en technique routière et dans des projets d'aménagement*. BRGM/RP-60013-FR, 53p.

Bouroullec I., Barlet N., Lelong S., Baudouin V., Herrouin J.P. (1999) *Inventaire des sites industriels de l'estuaire de la Loire (département de la Loire-Atlantique)*, Rapport public BRGM/RP-40846-FR.

De Beer J., Price S., Ford J. (2012) *3D modelling of geological and anthropogenic deposits at the World Heritage Site of Bryggen in Bergen, Norway*. Quaternary Int 251:107-116. doi:10.1016/j.quaint.2011.06.015

Environmental Protection Agency (2002) *European Waste Catalogue and Hazardous Waste List*

Ellison R.A., McMillan A.A., Lott G.K. (2002) *Ground characterisation of the urban environment: a guide to best practice*, British Geological Survey Research Report RR/02/05, 37 p

Le Guern C., Fauconnier D., Baudouin V. avec la collaboration de Conil P. (2001) *Sites industriels anciens de l'Agglomération Nantaise : Méthodologie de définition des priorités d'intervention – Application sur les Rives de Loire – Cas de l'île de Nantes*, Rapport Confidentiel BRGM/RP-51411-FR.

Ford J.R., Mathers S.J., Royse K.E., Aldiss D.T., Morgan D.J.R. (2010) *Geological 3D modelling: scientific discovery and enhanced understanding of the subsurface, with examples from the UK*. Z Dtsch Ges Geowiss 161/162:205–218

Le Guern C., Javanaud T., Baudouin V. et Conil P. avec la collaboration de **Béchennec F. et Clozel B.** (2007) *Cartographie des teneurs en arsenic et plomb des sols d'un ensemble de communes de Loire-Atlantique*, Rapport BRGM/RP-55696-FR,

Le Guern C., Baudouin V., Barbaud F., Journaud C., Roy, E. avec la collaboration de **Conil P.** (2012) *Inventaire historique urbain (IHU) de sites industriels et activités de service sur les communes de Saint Nazaire et Trignac*. Rapport BRGM/RP- 60092-FR, 92 p., 31 ill., 3 annexes.

Le Guern C., Baudouin V., Sauvaget B., Delayre M., Conil P. (2016) *A typology of anthropogenic deposits as a tool for modelling urban subsoil geochemistry: example of the Ile de Nantes (France)*. Journal of Soil and Sediments. DOI 10.1007_s11368-016-1594-z.

McMillan A.A., Powell J.H. (1999) *BGS Rock Classification Scheme, Volume 4: Classification of artificial (man-made) ground and natural superficial deposits - applications to geological map and datasets in the UK*. British Geological Survey Research Report RR 99-04, 66p

MEEDDAT (2007) Guide méthodologique « Diagnostics du site », février 2007.

Pied É. (1906) *Notices sur les Rues, Ruelles, Cours, Impasses, Quais, Ponts, Boulevards et Promenades de la Ville de Nantes*, A. Dugas. (http://fr.wikisource.org/wiki/Notices_sur_les_rues_de_Nantes, consulté les mois d'octobre, novembre, décembre 2013)

Rosenbaum M.S., McMillan A.A., Powell J.H., Cooper A.H., Culshaw M.G., Northmore K.J. (2003) *Classification of artificial (man-made) ground*. Eng Geol 69:399-409. doi:10.1016/S0013-7952(02)00282-X

Royse K.R., Rutter H.K., Entwisle D.C. (2009) *Property attribution of 3D geological models in the Thames Gateway, London: new ways of visualising geoscientific data*. Bull Eng Geol Environ 68:1-16. Doi: 10.1007/s10064-008-0171-0

Samoa (2016) *Ile de Nantes, Fabriquer la ville autrement* <http://www.iledenantes.com/fr/>

Tame C., Cundy A.B., Royse K.R., Smith M., Moles N.R. (2013) *Three-dimensional geological modelling of anthropogenic deposits at small urban sites: A case study from Sheepcote Valley, Brighton, UK*. J. Env. Manag. 129:628-634. Doi:10.1016/j.jenvman.2013.08.030

Villanneau E., Perry-Giraud C., N. Saby, C. Jolivet, F. Marot, D. Maton, A. Floch-Barneaud, V. Antoni et D. Arrouays (2008) *Détection de valeurs anormales d'éléments traces métalliques dans les sols à l'aide du Réseau de Mesure de la Qualité des Sols*, étude et Gestion des Sols, Volume 15,3, 2008 - pages 183 à 200

Site Internet consultés

<http://www.developpement-durable.gouv.fr/amenagement-et-sites-pollues/accueil.html>

<http://www.ineris.fr> : site de l'Institut National de L'Environnement Industriel et des Risques (INERIS)

<http://www.sites-pollues.developpement-durable.gouv.fr/>

<http://basias.brgm.fr/>

www.inpn.mnhn.fr

<http://www.iledenantes.com/>

<http://www.installationsclassees.gouv.fr>

Sources consultées (IHU)

ADEME (1997) *Inventaire d'anciens sites industriels (et d'activités de service), guide méthodologique*. Février 1997 - Version 1996. 163 p.

BRGM (2001) *Suivi et méthode des inventaires historiques régionaux d'anciens sites industriels (année 2001)*. Rapport BRGM/RP-50557-FR.

BRGM (2001) *Notice de l'application informatique BASIAS V2.0*. Rapport BRGM/ RP-51148-FR.

Callier L., Clozel-Leloup.B, Mamder J., Bernard A.J., Devillers A., Meire B. (2010) *L'inventaire Historique Urbain (IHU) de sites industriels d'Amiens Métropole*. Rapport final BRGM/RP-59118-FR 120 p., 10 ann.

Callier L. et Gérard J-P (2004) *Inventaires de sites industriels : Connaître le passé pour mieux gérer le présent et anticiper l'avenir*. Environnement et Techniques, n°241 p. 49-52.

Clozel-Leloup.B., Mamder.J. (2010) *Inventaire Historique de sites industriels et activités de service du Rhône (IHR) et du Grand Lyon (IHU) - Phase 2*. Rapport d'avancement n° 1 BRGM/RP-59183-FR, 17 p.

Clozel-Leloup B., Delahousse L.-M., Rouzaire D. (2007) *Inventaire historique urbain d'anciens sites industriels de la commune de Lorette (42)*. Périmètre du référentiel foncier Adèle Bourdon. Rapport final BRGM/RP-55681-FR, 62 p., 1CD.

Clozel-Leloup B., Petit. A.C. (2009) *Inventaire Historique de sites industriels et d'activités de service du Rhône (IHR) et du Grand Lyon (IHU)*. Convention 2005. Rapport final BRGM/RP-57549-FR 77 p., 1 ann.

Clozel-Leloup.B., Rouzaire D. (2006) *Inventaire historique urbain d'anciens sites industriels et d'activités de service de la ville de Grenoble*. Rapport final BRGM/RP-54980-FR 72 p. 1 pht. Version publique : RP-53986

Clozel-Leloup.B., Mor J., Rouzaire D., Thomas M. (2008) *Inventaire historique urbain d'anciens sites industriels des communes de Rive-de-Gier, Châteauneuf et St*

Joseph (42) : Périmètre du référentiel foncier Entrée Est. Rapport final BRGM/RP-56831-FR 68 p., 2 ann., 1 carte HT

Clozel-Leloup.B., Rouzaire D., Journais A. (2005) *Inventaire historique urbain d'anciens sites industriels de la vallée de l'Ondaine : Périmètre du référentiel foncier, commune de Firminy, Fraisses et Unieux.* Rapport final BRGM/RP-54027-FR 51 p. 2 ann.

Coussy S., avec la participation de **Rouvreau L., Blanc C., Scamps M. et J. Windholtz J.** (2013) *Guide de caractérisation des terres excavées dans le cadre de leur réutilisation hors site en technique routière et dans des projets d'aménagement.* Rapport BRGM/RP-62856-FR.

Jeannot R., Lemièrre B., Chiron S. (2001) *Guide Méthodologique pour l'Analyse des Sols Pollués*, Documents du BRGM 298, Orléans, 85p.

Annexe 1**Liste initiale (IHR) des 94 sites BASIAS de l'île de Nantes**

NB : Les coordonnées des points centroïdes aux sites sont données en IGN69/Lambert 2 étendu

Indice	Raison_sociale	X_L2E	Y_L2E
PAL 44 3880	PILLET, Fabrique d'engrais chimiques	305037.06	2252592.17
PAL 44 4006	PILON Frères & BUFFET J., Fabrique d'engrais et de produits chimiques	304878.39	2252341.16
PAL 44 4022	CHARBONNIERE DE L'OUEST Cie, Chantiers charbonniers, concassage, criblage	303881.19	2251829.27
PAL 44 4023	NANTES CHARBONS, Chantiers charbonniers, concassage, criblage, fabriques d'agglomérés et combustibles artificiels	304152.83	2251804.41
PAL 44 4024	PRODUITS CHIMIQUES DE St GOBAIN Ste, Produits chimiques divers	304302.34	2251800.63
PAL 44 4025	DELAFOY et Cie Ste, Fabrique d'acide sulfurique et de superphosphate de chaux ; engrais chimiques	304443.95	2251791
PAL 44 4026	ATELIERS ET CHANTIERS DE LA LOIRE, Construction navale	304553	2252680.1
PAL 44 4027	ATELIER ET CHANTIER DE BRETAGNE (ACB), Construction navale	304470.98	2252471.54
PAL 44 4028	JOUAN Jacques & PRETEILLE L., Produits chimiques divers, engrais chimiques	304588.87	2252651.29
PAL 44 4029	AVRIL P. & FITEAU A. Cie, Fabriques de substances chimiques, engrais chimiques	304696.91	2252699.52
PAL 44 4030	LANOE Paul & ADAM Pierre, Dépôt d'essence, industrie métallurgique	304795.44	2252692.54
PAL 44 4032	GOGENDEAU, Forge, estampage, boulonnerie	304925.82	2252644.3
PAL 44 4033	HAILAUST & GUTZEIT & Cie, Scieries	305123.56	2252595.96
PAL 44 4034	NANTAISE DE FONDERIES, Fonderies de fonte, de fer et d'acier et constructions mécaniques	304834.16	2252480.82
PAL 44 4035	MARTEL A., Produits chimiques divers	304906.8	2252441.06
PAL 44 4036	LANOE Paul & ADAM Pierre, Industries métallurgiques	304878.39	2252408.52

PAL 44 4037	AUBIN Fr., Produits en ciment	304831.64	2252435.33
PAL 44 4038	AMIAUD, Produits chimiques divers	304809.76	2252384.58
PAL 44 4039	CHARBONS DE L'OUEST, Chantiers charbonniers, concassage, criblage	304734.26	2252395.35
PAL 44 4040	METALLURGIQUE DE NANTES Ets, Industries métallurgiques	304962.82	2252309.65
PAL 44 4041	CATREC, récupération de métaux et DI, AVANT DEMAS Fils, Produits chimiques divers	305056.42	2252351.12
PAL 44 4042	LODE Félix, Constructions mécaniques	305116.46	2252357.77
PAL 44 4043	SAINT-FRERES, Corderies	305177.86	2252368.2
PAL 44 4044	MINES POWELL DRUFFRYN Cie, Chantiers charbonniers	304564.13	2251829.61
PAL 44 4045	ENTREPRISE DE TRANSPORT, AVANT ANGE BOSSARD Fils & PERRAULT A., Scieries, bois de construction	305270.89	2252578.54
PAL 44 4047	CASQUETTERIE NANTAISE, Industries du textile et du papier, divers	305379.04	2252473.25
PAL 44 4048	GRAND-JOUAN M., Déchargement navires	305216.93	2252431.9
PAL 44 4049	PEUGEOT, garage, AVANT, RADIGOIS EUGENE, Scieries	305288.99	2252337.61
PAL 44 4050	THEBAULT Fr, Entrepôts d'huiles minérales	305416.39	2252255.23
PAL 44 4051	ATELIERS DE REPARATION DE LA SNCF, Chaudronnerie (fer)	305280.06	2252065.16
PAL 44 4052	DAVUM Cie, Industries métallurgiques	305119.66	2251799.37
PAL 44 4053	MUSQUER, Tanneries, courroiries	305593.06	2252465.81
PAL 44 4054	RAMBAUD-DAVIAUD, Industries diverses du bois	305678.07	2252421.47
PAL 44 4055	JOUET, Constructions mécaniques	305860.23	2252479.44
PAL 44 4056	CHUNIAUD, Chaudronnerie (fer)	305882.8	2252429.83
PAL 44 4057	BISCUITERIE NANTAISE, Dépôt de fuel, usine agroalimentaire	305105.92	2252509.46
PAL 44 4058	ATELIERS DE CONSTRUCTIONS DE L'OUEST, Constructions mécaniques	305529.01	2252295.67
PAL 44 4059	COYAC Ch., Chaudronnerie (fer)	305623.88	2252201.27
PAL 44 4060	BIETTE A.&H. Fils et Cie, Savons et graisses, bougies, parfums	305844.53	2252359.72
PAL 44 4061	SUDRY & Fils, Constructions mécaniques - emballages métalliques	305995.19	2252264.63
PAL 44 4062	LANDAIS & CAILLOUS, Chaudronnerie (fer)	305988.54	2252214.33
PAL 44 4063	BOURGEOIS Ets, Produits chimiques divers	305908.69	2252192.33
PAL 44 4064	BUREAU E., Corderies	305892.08	2252122.22
PAL 44 4065	GUILLOUARD Ste, Fabrication d'articles de ménage, Forge, estampage, boulonnerie	305949.02	2252121.42
PAL 44 4066	DESMARAIS Frères Ste, Entrepôts d'huiles minérales	306050	2252040
PAL 44 4067	GILARD & RIOU, Constructions métalliques	306090	2251880
PAL 44 4068	TOTAL RAFFINAGE DISTRIBUTION, Station-service	305987.86	2251819.3
PAL 44 4069	Félix Daniel Ets, Industries métallurgiques	306420	2251890
PAL 44 4070	SNBCC, Blanchissage, dégraissage	306210	2252620
PAL 44 4071	ACIERIES NANTAISES, Aciéries	306390	2252520

Gestion des terres excavées - Qualité sols et proche sous-sol : Cas de l'île de Nantes

PAL 44 4095	FINANCIERE ET INDUSTRIELLE DES ATELIERS ET CHANTIERS DE BRETAGNE Sté, examen gammagraphique des soudures	304797.72	2252302.2
PAL 44 4101	FERRAND Georges Etb, Manufacture, teinturerie	305844.65	2251823.89
PAL 44 4103	MARCESCHE CHARVET Ste, Dépôt de fuel aérien, butane	304196.94	2252048.09
PAL 44 4128	NANTAISE de FONDERIES et CONSTRUCTIONS MECANIQUES Ste, Casse fonte	305984.42	2252366.82
PAL 44 4137	RICHARD Michel, Station-service	305250.5	2251913.59
PAL 44 4139	EUROMASTER, garage de réparation automobile, AVANT ELF FRANCE SA, Station-service	305944.09	2252258.78
PAL 44 4150	SHELL FRANCAISE Ste, Station-service	306482.79	2252348.26
PAL 44 4191	NANTAISE DES ENGRAIS Ste, Install de combustion, engrais	304406.37	2251858.14
PAL 44 4198	ELF FRANCE SA, Station-service	306006.07	2251936.62
PAL 44 4201	ATELIER ET CHANTIER DE BRETAGNE (ACB), Stockage de radioéléments du groupe 2	304631.49	2252399.36
PAL 44 4209	ERIDANIA BEGHIN SAY SA, Stockage de FOD	305406.43	2251753.77
PAL 44 4213	TOTAL RAFFINAGE DISTRIBUTION, Station-service	305847.28	2252342.65
PAL 44 4219	PEINTURE AUTOMOBILE DE L' OUEST, Application de peinture auto	305076.7	2252333.71
PAL 44 4231	SOGRAMO Ste CARREFOUR, Station-service	306637	2252338.87
PAL 44 4235	AS 24 COMBUSTIBLES ET CARBURANTS DE L' OUEST, Station-service	304828.66	2252279.86
PAL 44 4236	GUILLOUARD Ste, Fabrication d'articles de ménage, métaux et matières plastiques	306050.75	2252161.63
PAL 44 4243	SICOMA, Dépôt de bois	305515.2	2251951.59
PAL 44 4245	JUDIE Michel E.G.T.A., Dépôt de carburants	306433.64	2251906.95
PAL 44 4265	VILLE de NANTES, Décharge	306718.57	2252670.31
PAL 44 4272	DESMARAIS Frères Ste, Station-service	306120.98	2251804.52
PAL 44 4280	ATELIERS & CHANTIERS DE NANTES/ DE BRETAGNE, Chaudronnerie et tôlerie	304943.92	2252670.54
PAL 44 4283	ATELIER ET CHANTIER DE BRETAGNE (ACB), Atelier de chaudronnerie	304751.33	2252460.19
PAL 44 4292	DELAFOY et Cie Ste, Fabrique d'acide sulfurique et produits chimiques divers (engrais phospho-potassique PK300)	304817.44	2252632.96
PAL 44 4304	PELLISSIER, Garage, distribution de carburants	305370.45	2252497.54
PAL 44 4333	MENARD, QUET, DUBIGEON, Serrurerie-mécanique	305884.06	2252122.22
PAL 44 4358	CITROEN TRANSPORTS, Garage et atelier de réparation	305619.41	2252280.21
PAL 44 4361	BECIGNEUL, Fabrication de ferrocyanures, distillation, pulvérisation	304901.64	2252578.31
PAL 44 4370	ATELIER ET CHANTIER DE BRETAGNE (ACB), Atelier de traitement chimique ou électrolytique des métaux	304704.7	2252443.24

PAL 44 4374	ENTREPRISE DE FABRICATION ET DE DISTRIBUTION D'ELEMENTS D'EMBALLAGE EN BOIS, AVANT NANTAISE DE RECUPERATION Ste, Dépôt de papiers, et déchetage ; stockage et récupération de métaux	304109.06	2252016.47
PAL 44 4386	ATELIER ET CHANTIER DE BRETAGNE (ACB), Utilisation de radioéléments grpe 2, travail et stockage des métaux	304753.62	2252281.93
PAL 44 4389	SNCF, Stockage de matières combustibles	304423.09	2252207.46
PAL 44 4398	ELF FRANCE SA, Station-service	304548.32	2252591.49
PAL 44 4406	GONDRAND SA, Garage, Dépôt essence	305257.49	2252562.39
PAL 44 4409	ATLANTIQUE-BRETAGNE COMBUSTIBLES Ste, Dépôt de carburants	304610.98	2251826.86
PAL 44 4411	RAULT, Atelier de triage et Dépôt de chiffons	305819.79	2251973.4
PAL 44 4415	GENERALE TRANSATLANTIQUE, Activités portuaires	305017.47	2251740.6
PAL 44 4432	AXFER ESPAGNE, Traitement, revêtement des métaux	304625	2252650
PAL 44 4440	CBI MONTAGE, Fab. constructions métalliques	306100	2251900
PAL 44 4472	GRANJOUAN Paul Ste, Garage	305100	2252400
PAL 44 4484	NANTAISE DE GALVANISATION Ste (SNG), Galvanisation	304750	2252600
PAL 44 4493	PILET, Station-service	305400	2252275
PAL 44 4495	RINEAU Frères, Chaudronnerie, tôlerie	305050	2252350
PAL 44 4497	ROUGIER Lagane, Chaudronnerie	305800	2252100
PAL 44 4504	SHELL FRANCAISE Ste, Station-service	305475	2252200
PAL 44 4590	FOUGEROLLES Ste, Centrale d'enrobage à chaud	307662.95	2252864.62
PAL 44 4653	LABORATOIRES DOLISOS, Fab. de médicaments	307175	2252625

Annexe 2

Liste actualisée (IHU) des 199 sites BASIAS de l'île de Nantes

NB : Les coordonnées des points centroïdes aux sites sont données dans le système de coordonnées de référence RGF93/Lambert 93

Gestion des terres excavées - Qualité sols et proche sous-sol : Cas de l'île de Nantes

ID-BASIAS	Raison sociale	X_L93	Y_L93	Contour IHU	Nb_Intra IHU
PAL4403880	PILLET Georges, Engrais	354910	6688574	1	0
PAL4404006	ATELIERS ET CHANTIERS DE BRETAGNE (ACB), Constructions métalliques/avant PILON FRERES, BUFFET & DURAND - GASSELIN, Fabrique d'engrais et produits chimiques	354848	6688262	1	7
PAL4404022	COMBUSTIBLES DE L'OUEST Sté (LCO), Fabrique d'agglomérés de houille/avant SEDICO/IMPORTATION DE CHARBONS (Sté d')/DURAND & RENAUD, Chantier charbonnier, concassage, criblage	354252	6687802	1	18
PAL4404023	NANTES CHARBONS Sté, Usine à troulets et boulets de charbon/avant PAJOT-ECOMARD, Fabrique d'agglomérés de charbon	354375	6687892	1	6
PAL4404024	MANUFACTURE DES GLACES ET PRODUITS CHIMIQUES DE SAINT GAUBIN CHAUNY & CIREY, Usine de produits chimiques	354536	6687797	1	19
PAL4404025	DELAFOY & Cie, Fabrique d'engrais chimiques/avant PRETCEILLE & BROUSSEAU, Fabrique d'engrais	354451	6687817	1	2
PAL4404026	ATELIERS ET CHANTIERS DE LA LOIRE, Construction navale	354433	6688296	1	21
PAL4404027	CHANTIERS DUBIGEON-NORMANDIE, Chantiers navals/ avant FINANCIERE ET INDUSTRIELLE DES ATELIERS ET CHANTIERS DE BRETAGNE (SFI-ACB), Chantiers navals	354344	6688255	1	94
PAL4404028	PRETCEILLE & JOUAN, Produits chimiques	354698	6688594	1	0
PAL4404029	AVRIL E., FITEAU G. & Cie, Fabrique d'engrais chimiques	354796	6688604	1	9
PAL4404030	LANOE Paul & ADAM Pierre, Industrie métallurgique, DLI	354970	6688337	1	0
PAL4404032	DUPOIRON & GOJENDEAU, Forge, estampage, boulonnerie	355044	6688581	1	12
PAL4404033	HAILAUST & GUTZEIT, Chantiers de bois	355189	6688501	1	7
PAL4404035	MARTEL A., Produits chimiques divers	354987	6688363	0	0
PAL4404036	LANOE Paul & ADAM Pierre, Industrie métallurgique	354875	6688565	1	0
PAL4404037	AUBIN Fr, Produits en ciment	354939	6688324	1	2
PAL4404038	PAUL AMIAUD SUCCESSEUR, Engrais chimiques	354908	6688331	1	0
PAL4404039	ATELIERS ET CHANTIERS DE BRETAGNE (ACB), Division Mécanique/ avant CHARBONS DE L'OUEST Cie, Fabrique d'agglomérés de houille	354841	6688326	1	14
PAL4404040	METALLURGIQUE DE NANTES Ets, Industries métallurgiques	355042	6688232	0	0
PAL4404041	CATREC, récupération de métaux et DI /Avant DEMAS Fils, Produits chimiques divers	355148	6688286	1	5
PAL4404042	CATREC Sté, Découpage de métaux et alliages/ avant AUDEON, Découpage métaux / LODE Félix, Fonderie de fers en deuxième fusion	355182	6688292	1	9
PAL4404043	SAINT-FRERES, Corderie	355241	6688281	1	0
PAL4404047	CASQUETTERIE NANTAISE, Industries du textile et du papier	355464	6688387	1	0
PAL4404048	DROUIN FRERES, Société de transport/ avant ENTREPRISE GENERALE DE TRANSPORTS, Société de transports	355308	6688339	1	18
PAL4404049	PEUGEOT, garage /avant RADIGOIS Eugène, Scieries	355368	6688256	0	0
PAL4404050	THEBAULT Fr., Entrepôts d'huiles minérales	355494	6688173	0	0
PAL4404051	SNCF, Gare de triage	354864	6688064	1	15
PAL4404052	DAVUM, Industries métallurgiques	355214	6687741	1	7

Gestion des terres excavées - Qualité sols et proche sous-sol : Cas de l'île de Nantes

ID-BASIAS	Raison sociale	X_L93	Y_L93	Contour IHU	Nb_Intra IHU
PAL4404053	MUSQUER, Tanneries, corroieries/ avant MONNIER SILARDIERE, Tanneries, courroiries	355690	6688355	1	6
PAL4404054	RAMBAUD-DAVIAUD, Industries diverses du bois	355748	6688329	1	0
PAL4404055	JOUET, Constructions mécaniques	355957	6688412	1	0
PAL4404056	CHUNIAUD, Chaudronnerie de fer	355996	6688358	1	0
PAL4404057	BISCUITERIE NANTAISE, Fabrique de biscuits, DLI	355204	6688417	1	0
PAL4404058	ATELIERS CONSTRUCTIONS DE L'OUEST, Fonderie de fonte	355719	6688216	1	27
PAL4404059	COYAC Ch., Chaudronnerie (fer)	355697	6688122	0	0
PAL4404060	LEVER, Savonnerie/ avant BIETTE FRERES Ets, Savonnerie et parfumerie	355814	6688133	1	19
PAL4404061	SUDRY Sté, Constructions mécaniques	356104	6688173	1	3
PAL4404062	LANDAIS & CAILLOUS, Chaudronnerie (fer)	356067	6688127	0	0
PAL4404063	BOURGEOIS Ets, Produits chimiques divers	355986	6688106	0	0
PAL4404064	BUREAU E., Corderies	356049	6688073	1	0
PAL4404065	GUILLOUARD A & L, Articles ménagers galvanisés et étamés	355997	6688092	1	2
PAL4404066	DESMARIS FRERES, Entrepôts d'huiles minérales	356116	6687967	1	7
PAL4404067	GILARD & RIOU, Constructions métalliques	356165	6687793	0	0
PAL4404068	TOTAL, Station-service	356144	6687657	1	2
PAL4404069	DANIEL F. Ets, Industries métallurgiques	356495	6687800	0	0
PAL4404070	NOUVELLE DES BOIS CONTREPLAQUES ET COMPRISE Sté (SNBCC), Fabrique de contreplaqués	356221	6688459	1	11
PAL4404071	NANTES LA MADELEINE ACIERIES, Usine d'aciers moulés	356320	6688473	1	0
PAL4404095	FINANCIERE ET INDUSTRIELLE DES ATELIERS ET CHANTIERS DE BRETAGNE Sté (SFI-ACB), examen gammagraphique des soudures	354683	6688380	0	0
PAL4404101	FERRAND Georges Ets, Manufacture, teinturerie	355919	6687739	0	0
PAL4404128	NANTAISE DES FONDERIES REUNIES ET DE CONSTRUCTIONS MECANIQUES Sté, Fonderies/ avant BABIN CHEVAYE FRERES, Fonderie de cuivre et d'aluminium	356093	6688281	1	84
PAL4404137	ELF DISTRIBUTION Sté, RICHARD Michel, Station-service	355319	6687870	1	17
PAL4404139	EUROMASTER, garage de réparation automobile / avant ELF FRANCE SA, Station-service	356051	6688108	0	0
PAL4404150	PETROLES SHELL - BERRE Sté, DLI	356565	6688292	1	17
PAL4404191	TIMAC AGRO, Fabrique d'engrais / Avant INTERFERTIL France / RENO / NANTAISE DES ENGRAIS Sté, Fabrique d'engrais	354506	6687806	1	38
PAL4404201	ATELIER ET CHANTIER DE BRETAGNE (ACB), Stockage de radioéléments du groupe 2	354824	6688404	0	0
PAL4404209	BEGHIN SAY (ERIDANIA), Raffinerie de sucre, DLI	355460	6687734	1	27
PAL4404213	TOTAL RELAIS DE LA MADELEINE, Station-service/ avant LILLE BONNIERES COLOMBES Sté, Station-service	355962	6688155	1	11
PAL4404219	PEINTURES ET AUTOMOBILES DE L'OUEST, Atelier de peinture automobile	355149	6688272	1	0
PAL4404231	CARREFOUR, Station-service / avant CASINO, Station-service	356714	6688243	1	7
PAL4404235	AS24 SERNAM, Station-service / avant AS 24 COMBUSTIBLES ET CARBURANTS DE L'OUEST, Station-service	354991	6688213	1	3
PAL4404236	GUILLOUARD A & L, Articles ménagers galvanisés et étamés	356130	6688089	1	45

Gestion des terres excavées - Qualité sols et proche sous-sol : Cas de l'île de Nantes

ID-BASIAS	Raison sociale	X_L93	Y_L93	Contour IHU	Nb_Intra IHU
PAL4404243	SICOMA, Dépôt de bois / INDUSTRIELLE & COMMERCIALE DE MATERIAUX Sté (SICOMA), Stockage de matériaux de construction	354154	6687836	1	7
PAL4404245	JUDIC Michel, EGTA, Dépôt de carburants	356713	6687910	1	1
PAL4404265	VILLE DE NANTES, décharge	356809	6688599	1	0
PAL4404272	DESMARAIS FRERES, Station-service	356095	6687970	1	17
PAL4404280	ATELIERS ET CHANTIERS DE BRETAGNE (ACB), Construction navale, Chaudronnerie, tôlerie	355011	6688555	1	4
PAL4404283	ATELIERS ET CHANTIERS DE BRETAGNE (ACB), Division Mécanique / avant FINANCIERE ET INDUSTRIELLE DES ATELIERS ET CHANTIERS DE BRETAGNE (SFI-ACB), Chantiers navals	354902	6688429	1	38
PAL4404292	DELAFOY & Cie, Fabrique d'engrais chimiques	354938	6688566	1	11
PAL4404304	PELISSIER, Garage	355460	6688433	1	0
PAL4404333	MENARD, QUET, DUBIGEON, Serrurerie-mécanique	355961	6688036	0	0
PAL4404358	CITROEN, Garage	355728	6688219	1	12
PAL4404361	BECIGNEUL, Fabrication ferrocyanures, distillation, pulvérisation	354984	6688518	1	2
PAL4404370	ATELIERS ET CHANTIERS DE BRETAGNE (ACB), Construction navale, traitement des métaux	354546	6688478	1	11
PAL4404374	NANTAISE DE RECUPERATION Sté, Recyclage papiers et cartons / avant MARESCHE CHARVET Sté, DLI	354234	6687972	1	6
PAL4404386	ATELIER ET CHANTIER DE BRETAGNE (ACB), Utilisation de radioéléments groupe 2, travail et stockage des métaux	354833	6688205	0	0
PAL4404389	SNCF - RFF, stockages	355479	6688072	1	5
PAL4404398	ELF FRANCE SA, Station-service	354670	6688502	0	0
PAL4404406	FRANCAISE DES TRANSPORTS GONDRAND FRERES Sté, Garage et DLI	355349	6688469	1	6
PAL4404409	COMBUSTIBLES DE L'OUEST, Les (LCO), Fabrique d'agglomérés de charbon / avant NANTAISE DELMAS VIELJEUX & POWEL DUFFYN Sté, Fabrique d'agglomérés de charbon / après ATLANTIQUE BRETAGNE COMBUSTIBLES (ABC), Fabrique d'agglomérés de charbon	354713	6687809	1	34
PAL4404415	GENERALE TRANSATLANTIQUE Cie, Activités portuaires	355322	6687717	1	6
PAL4404432	AXFER ESPAGNE, Traitement, revêtement des métaux	354707	6688574	0	0
PAL4404440	CBI MONTAGE, Fab. constructions métalliques	356175	6687813	0	0
PAL4404472	GRANJOUAN Paul Ste, Garage	355119	6688287	1	4
PAL4404484	NOUVELLE DE GALVANISATION Sté (SNG), Traitements de surfaces	354822	6688510	1	6
PAL4404493	PILET, Station-service	355470	6688210	1	2
PAL4404495	RINEAU FRERES, Chauffage central sanitaire couverture	355025	6688278	1	7
PAL4404497	ROUGIER & LAGANE, Mécanique et chaudronnerie	355877	6688015	0	0
PAL4404504	SHELL FRANCAISE, Station-service	355553	6688120	1	18
PAL4404590	FOUGEROLLES SNCT, Centrale d'enrobage à chaud	357653	6688655	1	0
PAL4405201	PORT AUTONOME, Dépôts de fuel	354694	6687676	1	6
PAL4405202	BELAVA SICA, Installation frigorifique	355200	6688269	1	2
PAL4405203	DOCKS de l'OUEST, DLI	356089	6688421	1	3
PAL4405204	CAVE, Fabrique de sacs, Dépôt de vernis	355673	6688333	1	2
PAL4405206	DROUIN FRERES, Société de transport	355600	6688363	1	3

Gestion des terres excavées - Qualité sols et proche sous-sol : Cas de l'île de Nantes

ID-BASIAS	Raison sociale	X_L93	Y_L93	Contour IHU	Nb_Intra IHU
PAL4405208	DEZECOT, Garage	355714	6688112	1	0
PAL4405211	PORT AUTONOME, Station de désinsectisation	354841	6687755	1	2
PAL4405212	CHAILLOUS SA, DIVISION FMO NOVACIER- ARCELOR, FERS ET METAUX DE L'OUEST Sté (SFMO), Première transformation de métaux, Traitements de surfaces	354368	6687817	1	18
PAL4405214	REVIMEX, Société de vente de gros, importation, exportation, DLI / avant CIMA WALLUT, Production de machines agricoles	355640	6688185	1	3
PAL4405215	POMONA FRUIDOR, Installations frigorifiques, Stockage eau glycolée / avant INDUSTRIELLE DE MURISSERIE DE L'OUEST Sté (SIMO), Installations frigorifiques	355085	6687746	1	17
PAL4405216	BIENNE CHALLIER Ets, Installation de distribution de liquides inflammables (DLI)	355190	6687931	1	2
PAL4405217	NANTAISE DES DRAGAGES Sté, Dragages fluviaux	355174	6688579	1	2
PAL4405218	FRIGE TRANS, Dépôt de carburant	355947	6687967	1	4
PAL4405219	DEMAG SPIROS Sté, DLI	355766	6688415	1	0
PAL4405220	COOPERATIVE AGRICOLE DES MARAICHERS NANTAIS, Stockage et distribution de carburant	355616	6687878	1	3
PAL4405222	GRIMAUD, Garage, peinture auto	355956	6687867	1	3
PAL4405223	OTOR NANTES, papeterie / avant BEGHIN SAY PAPETERIE NANTAISE, Fabrique d'emballages en carton	355648	6687736	1	28
PAL4405224	MARCHE D'INTERET NATIONAL (MIN), entrepôts frigorifiques	355006	6687876	1	8
PAL4405225	VORUZ, Fonderie de fer	354973	6688434	1	10
PAL4405226	NOUVELLE DE GALVANISATION Sté, Traitements de surfaces	355485	6687824	1	6
PAL4405227	THULIEVRE Ets, Fonderie	355916	6688020	1	6
PAL4405228	BOUCHILLOU DE BERGERAC Ets, Dépôt peintures	355815	6688415	0	0
PAL4405229	INDUSTRIELLE AUTOMOBILE DE L'OUEST Sté (SIAO), Vente et garage automobile	356019	6688281	1	11
PAL4405232	BLONDEL E., Fabrique d'engrais aux phosphates et superphosphates	355066	6688346	1	0
PAL4405233	ROUCHE, Fabrique d'engrais	354771	6688520	1	3
PAL4405235	HUTCHINSON J & P, boulets d'agglomérés de houille	355272	6688311	0	0
PAL4405237	RIDEL & LANFRANCKI, Dépôt d'engrais chimiques	355728	6688225	1	9
PAL4405238	GERSON & HUTEAU, Scierie mécanique	355811	6688251	1	3
PAL4405239	GERMAIN & Cie, Fabrique d'engrais	354938	6688334	1	9
PAL4405240	SYNDICATS AGRICOLES, Dépôt d'engrais organiques et chimiques	355067	6688279	1	3
PAL4405241	COMBES & ROZIER, Fabrication de charbon de Paris et de briquettes agglomérées au brai gras	355953	6688412	1	4
PAL4405243	DUVAL, FABRE & Cie, Fabrique d'agglomérés au brai sec	354781	6688452	1	8
PAL4405244	LAURENT André, Usine pour la fabrication de boulets de houille	354959	6688563	1	3
PAL4405245	ANCIENNE MAISON PERGELINE & Cie SA, Fabrication de boulets ovoïdes de Cardiff	355239	6688306	1	3
PAL4405246	PRETCEILLE & BROSEAU, Fabrique d'engrais	354466	6687768	1	30
PAL4405247	TERRET & de COSMADEUC, Importation de charbon	354363	6687775	1	8
PAL4405248	CHUPIN, Garage	355504	6688235	1	10
PAL4405249	FRIARD L (garage Victor Hugo), Garage, DLI	355775	6688003	0	0

Gestion des terres excavées - Qualité sols et proche sous-sol : Cas de l'île de Nantes

ID-BASIAS	Raison sociale	X_L93	Y_L93	Contour IHU	Nb_Intra IHU
PAL4405250	GUEGAN, Garage	355815	6687899	1	5
PAL4405251	QUEROL, Garage	355488	6688245	1	10
PAL4405252	GUIBERT, fils aîné, Grosse chaudronnerie et forge	non localisé		0	0
PAL4405253	GUITTON & JOLIN, Atelier de chaudronnerie	355443	6688467	1	3
PAL4405254	SOULARD, Atelier de chaudronnerie et de construction métallique	356064	6688123	1	1
PAL4405259	BOURDEAU & BOURGIER, Dérochage du fer	355596	6688443	1	3
PAL4405262	INDUSTRIELLE DES PETROLES Cie, DLI	355380	6688118	1	1
PAL4405265	BABONNEAU, NICOLAS & Cie, Fonderie de fer	354875	6688577	0	0
PAL4405266	DESBOIS & ROUSSECHAUSSE, Fonderie de fer	355563	6688374	1	0
PAL4405267	DEVIGNE & WEBER, Fonderie de cuivre, bronze et métaux	356446	6687800	1	7
PAL4405268	DUPONT & HAREL, Fonderie de fer	355568	6688380	1	0
PAL4405269	APPLICATIONS INDUSTRIELLES ET MENAGERES Société (d') (SAIM), DLI	354272	6687815	0	0
PAL4405270	USINES de BITUME et d'ASPHALTE du CENTRE, Société (des), fabrique de mélanges asphaltiques	354143	6687957	0	0
PAL4405271	BLOUIN, Miroiterie	355775	6687923	1	11
PAL4405273	GRANDE BOULANGERIE NANTAISE, DLI	355967	6688178	1	1
PAL4405274	FRANCO-ANGLAISE DES CHARBONS Sté, Stockage de charbon	355484	6688028	1	2
PAL4405275	PLACET, Garage	355868	6687946	1	0
PAL4405276	MASSON, Garage, peinture automobile	355482	6688381	1	1
PAL4405277	LE VAILLANT Michel, Peinture auto	355154	6688369	0	0
PAL4405278	GARAGE DE LA POSTE, Garage	355893	6687697	1	2
PAL4405279	GENERALE SALINIERE Sté, activité à préciser	354329	6687750	1	0
PAL4405301	CHEVANNES & MERCERON, Garage	355875	6688379	1	3
PAL4405302	DESMARS Maurice, DLI	355378	6688493	1	1
PAL4405303	FRUNEAU, Transports Rapides	355787	6688414	1	3
PAL4405304	DESTEUQUE, DLI	355452	6688469	1	4
PAL4405305	BUET, Garage	355567	6688450	1	0
PAL4405306	SUDRY H., Ateliers de mécanique générale	356169	6687773	1	0
PAL4405315	MONTFORT Louis & Cie SARL, Dépôt de produits chimiques	355760	6688227	1	6
PAL4405325	SAGA, Terminaux portuaires	355071	6687658	1	1
PAL4405327	FILS DE Ch. CHEVALLIER (les), Dépôt allumettes	355480	6687985	1	2
PAL4405328	NORD France D'ENTREPRISES GENERALES ET DE CONSTRUCTIONS EN BETON ARME Sté, Entreprise de BTP	355275	6687658	1	1
PAL4405330	GOUIN & Cie, Constructions navales	354589	6688495	1	0
PAL4405331	LE FRANCOIS, Constructions navales	354551	6688475	1	0
PAL4405332	JOLLET & BABIN, Constructions navales	354509	6688452	1	0
PAL4405333	DE LA BROUSSE & FOUCHE Ets, Constructions navales	354413	6688386	1	0
PAL4405342	DAVUM, HANGAR FRANCO-ANGLAISE, Stockage de charbon	355492	6688027	1	1
PAL4405343	NANTAISE DE TRAVAUX PUBLICS Sté, Entreprise de BTP	355566	6688110	1	3
PAL4405344	ATELIERS ET CHANTIERS DE BRETAGNE (ACB), Division Chaudronnerie	354664	6688403	1	9
PAL4405346	DESMAS, Fabrique d'engrais	354940	6688562	1	0
PAL4405347	AMIAUD & CRESNO, Fabrique d'engrais	355232	6688370	1	0
PAL4405348	BRUGIERE, CLEMENCEAU & CIE, Fabrique d'engrais	355247	6688317	1	0

Gestion des terres excavées - Qualité sols et proche sous-sol : Cas de l'île de Nantes

ID-BASIAS	Raison sociale	X_L93	Y_L93	Contour IHU	Nb_Intra IHU
PAL4405349	COUDERC & GERAUD, Fabrication de charbon et d'engrais	355129	6688354	1	11
PAL4405350	DUBOCHET & CIE, Fabrique d'engrais	354988	6688558	1	0
PAL4405351	VIVIER, Fabrique d'engrais / avant EATON & LARABRIE, Négociants en charbon	355049	6688550	1	2
PAL4405352	HEMION FRERES, Fabrique d'engrais	355189	6688363	1	0
PAL4405353	LEGAL & CHEVREUIL, Fabrique d'engrais	355150	6688518	1	0
PAL4405354	LE SENECHAL, Fabrique d'engrais	354793	6688548	1	0
PAL4405355	LE ROUX & Cie, Fabrication de charbon de Paris, de carbonate de chaux et d'engrais	354922	6688270	1	0
PAL4405356	ROUXEL, Atelier de nickelage et émaillage	355283	6688368	1	0
PAL4405357	SAUVESTRE Emile, Fabrique d'engrais	355281	6688471	1	0
PAL4405358	TALVANDE, Dépôt d'engrais et de houille	355020	6688554	1	0
PAL4405359	BERNARDEAU, Forge et ajustage	354834	6688359	0	0
PAL4405360	DENIAU, Fonderie de fonte	355826	6688134	0	0
PAL4405361	BURON, Fabrication d'agglomérés de houille au brai sec	rue du Tonkin		0	0
PAL4405362	PINEAU, Fonderie de cuivre	355729	6688377	0	0
PAL4405363	SICOB	354219	6687906	1	0
PAL4405364	HUTCHINSON Cie, Stockage de charbon	355500	6688063	1	0
PAL4405365	KAIL & RENAUD, Fabrication de charbon, carbonisation en vase clos	356061	6687884	0	0
PAL4405366	LA PRODORITE, Société d'agglomérés de brais de goudrons	354733	6688530	0	0
PAL4405367	ROUGIER & LAGANE, Mécanique et chaudronnerie	non localisé		0	0
PAL4405368	PARIS, Ateliers de construction métallique et mécanique, forge et chaudronnerie	356132	6688429	1	4
PAL4405369	BARRE, Teinturerie et Dépôt de benzine	356038	6687711	0	0
PAL4405370	CONTE, Petite chaudronnerie et générateur d'acétylène	355432	6688458	1	2
PAL4405371	VILLE DE NANTES, Garage	355238	6688346	1	0
PAL4405372	MILON, Teinturerie	355383	6688445	1	1
PAL4405373	ATELIERS ET CHANTIERS DE BRETAGNE (ACB), Division Mécanique	354795	6688526	1	4
PAL4405374	ATELIERS ET CHANTIERS DE BRETAGNE (ACB), Construction navale / avant PILON FRERES, BUFFET & DURAND - GASSELIN, Fabrique d'engrais et produits chimiques	354942	6688269	1	5
PAL4405375	GARE DE LEGE, Zone de stockage, DLI	355796	6687648	1	7
PAL4405376	ATELIERS ET CHANTIERS DE BRETAGNE (ACB), Division Mécanique	354919	6688332	1	5
PAL4405377	GONDOLO, Chaudronnerie	354793	6688422	1	1

Annexe 3

Exemple de fiche BASIAS actualisée

INVENTAIRE DES ANCIENS SITES INDUSTRIELS - BASIAS		Page 1
Commune	NANTES	Date d'impression 05/12/2016
Indice national	PAL-I-44 04006	Sur Internet http://basias.brgm.fr

Le 01/01/1111 est utilisé lorsque la date est inconnue, (anc. format) et (ancien format) indiquent un ancien format de saisie d'une donnée.

1 - IDENTIFICATION DU SITE

Indice départemental PAL4404006 Unité gestionnaire BRGM/SGR/PAL
 Créateur(s) de la fiche S.LELONG Date de création de la fiche 04/08/1999
 Nom(s) usuel(s)
 Raison(s) sociale(s) de l'entreprise connue PILON Frères & BUFFET J., Fabrique d'engrais et de produits chimiques
 Siège(s) social(aux)
 Sous surveillance ? ? Etat de connaissance Inventorié
 Visite rapide de terrain Non Date de la visite
 Commentaire(s) devenu ATELIERS ET CHANTIERS DE BRETAGNE, Constructions métalliques

Autres identifications

Numéro	Organisme
4817X9239	BRGM

Modificateur(s) de la fiche

Nom	Date
BRGM-PAL	05/08/2015
BRGM/EPI/ETS	01/06/2011

2 - LOCALISATION DU SITE

Adresse (anc. format)

Dernière adresse	Numéro	N° d'ordre	Type de voie	Nom de la voie
	54		Boulevard	Prairie au Duc (de la)
Localisation				
Numéro INSEE	44109		Commune principale	NANTES
Arrondissement				
Zone lambert	Lambert II étendu		Précision	Décamètre
X saisi (m)	304878		Y saisi (m)	2252341
Zone lambert adresse			Précision de l'adresse	
X Adresse			Y Adresse	
Altitude (m)			Précision z	
Carte géologique	NANTES		Numéro	0481 Huitième 7

Carte(s) et plan(s) consulté(s)

Carte consultée	Echelle	Année d'édition	Présence du site?	Référence du dossier
PMA_1	?	1901	<input checked="" type="checkbox"/>	AD44-5M384
PSI_1	1/2000	1880	<input checked="" type="checkbox"/>	AD44-5M383
PMA_1	1/200		<input checked="" type="checkbox"/>	AD44-5383

Commentaire(s) anciennement BOULEVARD BABIN CHEVAYE et situé entre la RUE ARTHUR III et LE BOULEVARD LEON BUREAU

3 - PROPRIETE DU SITE

Nombre de propriétaires actuels ?

INVENTAIRE DES ANCIENS SITES INDUSTRIELS - BASIAS

Page 2

Commune NANTES

Date d'impression 05/12/2016

Indice national PAL-I-44 04006

Sur Internet <http://basias.brgm.fr>

Commentaire(s)

4 - ACTIVITE(S)

Date début première activité 11/06/1863 Date fin de dernière activité Origine de la date AP=Arrêté préfectoral
Site en activité ? Activité terminée

Historique de(s) activité(s) sur le site

Ordre	Date début	Date fin	Code activité	Libellé de l'activité	Importance de l'activité	Groupe selon SEI	Autres informations
1	01/01/1111		C25.50A	Forge, marteaux mécaniques, emboutissage, estampage, matricage découpage ; métallurgie des poudres	?	2ième group	pour les ATELIERS CHANTIERS BRETAGNE

Origine de la date de début

?=Origine de la date non connue

Référence du dossier

2	11/06/1863		C20.15Z	Fabrication de produits azotés et d'engrais	Autorisation	1er groupe	jusqu'en 1912 fabrique d'engrais
---	------------	--	---------	---	--------------	------------	----------------------------------

Origine de la date de début

AP=Arrêté préfectoral

Référence du dossier

AD44-5M384

3	01/01/1964		V89.03Z	Dépôt de liquides inflammables (D.L.I.)	?	1er groupe	pour les ATELIERS CHANTIERS BRETAGNE
---	------------	--	---------	---	---	------------	--------------------------------------

Origine de la date de début

?=Origine de la date non connue

Référence du dossier

Produit(s) utilisé(s) ou généré(s) par l'activité du site

No. Ordre	Code produit	Libellé produit	Quantité m3	Quantité tonnes/semaine
1				
2	C13	Engrais		
3	D11	Hydrocarbures de type Carburant: fuel, essence, acétylène, ...	5	

Exploitant(s)

Date début exploitation Date fin exploitation Nom de l'exploitant ou raison sociale

01/01/1863

PILON Frères & BUFFET J.

Commentaire(s) ENGRAIS ?

5 - UTILISATION ET PROJET(S)

Nombre d'utilisateur(s) actuel(s) ?

Surface totale actuelle (ha)

Surface bâtie actuelle (m2)

Code POS - PLU

INVENTAIRE DES ANCIENS SITES INDUSTRIELS - BASIAS		Page 3
Commune	NANTES	Date d'impression 05/12/2016
Indice national	PAL-I-44 04006	Sur Internet http://basias.brgm.fr

Site réaménagé ? ? Site en friche ?
 Type de réaménagement (ancien format) ?
 Projet de réaménagement (ancien format)
 Type de réaménagement
 Projet de réaménagement
 Réaménagement sensible ? Projet sensible ?
 Maître d'ouvrage
 Commentaire(s) Site non retrouvé.

6 - ENVIRONNEMENT

Milieu implantation
 Captage AEP ? Référence BSS Distance (m) Position Périmètre de protection ?
 Formation superficielle Substratum
Zones de contraintes et d'intérêts particuliers
 Type de zones ou d'intérêts particuliers Distance (m) Commentaire(s) associé(s)
 Cours d'eau 1000 Fleuve La Loire <=1000m
 Nom de la nappe Type de nappe
 Type aquifère Code du système aquifère 355b Nom du système LOIRE AVAL (b)
 Profondeur minimale (m) Amplitude piezo (m) Coefficient perméabilité (m/s)
 Référence étude
 Commentaire(s) 1 TR,remblais,,Formations superficielles, 2 3 ,0, 4 ,0,

7 - CONSULTATION

Consultation de la mairie Date de consultation
 Réponse de la mairie Date de réponse

8 - CLASSES DE SELECTION DU SITE

Code activité ayant induit le classement
 Activité
 Sensibilité/Vulnérabilité des eaux
 Type de réaménagement
 Classe du site
 Importance de l'activité
 Accidents et/ou pollutions connus
 Date de modification

9 - ETUDES ET ACTIONS

10 - DOCUMENTS ASSOCIES

11 - BIBLIOGRAPHIE

Source(s) d'information plan monum, terrain V.Baudouin
 Chronologie de l'information
 Autre(s) source(s)
 Donnée(s) complémentaire(s)
Référence(s) des activité(s) industrielle(s)

INVENTAIRE DES ANCIENS SITES INDUSTRIELS - BASIAS

Page 4

Commune NANTES

Date d'impression 05/12/2016

Indice national PAL-I-44 04006

Sur internet <http://basias.brgm.fr>

Code NAF	Activité industrielle sur le site	Référence du dossier
C20.15Z	Fabrication de produits azotés et d'engrais	AD44-5M384
V89.03Z	Dépôt de liquides inflammables (D.L.I.)	
C25.50A	Forge, marteaux mécaniques, emboutissage, estampage, matriçage découpage ; métallurgie des poudres	

Référence(s) des carte(s) et plans consulté(s)

Nom de la carte	Echelle	Référence du dossier
PMA_1	1/200	AD44-5383
PSL_1	1/2000	AD44-5M383
PMA_1	?	AD44-5M384

12 - SYNTHÈSE HISTORIQUE

13 - ÉTUDES ET ACTIONS BASO

Annexe 4

Note technique pour le suivi lithologique et analytique des sondages

Recommandations pour la description des terrains rencontrés lors des forages et les prélèvements d'échantillons représentatifs des différentes lithologies

BRGM, version de juillet 2014

1. Repérage des sondages

Pour pouvoir repérer les sondages spatialement, il est besoin :

- Des coordonnées natives mesurées *in situ* au GPS (en précisant système de projection et unité) (ex : WGS84, Lat, Long DegMinSec),
- Des coordonnées en RGF93,
- D'un ou plusieurs plans de localisation (1/5000^e à 1/500^e) avec des points de repère facilement identifiables.
- Du nivellement de sondages en mNGF.

2. Description des lithologies rencontrées

Les sondages devront faire l'objet d'une description précise des terrains traversés : lithologie (terrain naturel/remblai, texture, etc.) (cf. lexique), couleur, odeur, venues d'eau.

Une caractérisation intrinsèque des remblais par couche lithologique est par ailleurs attendue, différenciant les différents remblais selon la nature des éléments naturels (graviers, sables, limons, argiles, ...) et anthropiques (briques, bétons, ferraille, scories, mâchefers...) identifiés. Un lexique (Tableau 1) est proposé à la fin de cette note pour guider la terminologie de description des matériaux.

Un échantillon de sol sera prélevé et analysé pour chaque couche lithologique homogène (§3). Chaque sondage sera suivi au moyen d'un détecteur semi-quantitatif de composés organiques volatils (PID par exemple).

3. Analyse par lithologie

Outre le suivi des sondages pour dosage semi-quantitatif de composés organiques volatils sur le terrain, les prestataires bureau d'études veilleront à effectuer les mesures et prélèvements en respectant les normes et les bonnes pratiques en vigueur.

Les analyses seront réalisées par lithologie, en notant bien sûr la cote des changements de lithologie, et la cote des prélèvements analysés et le type de prélèvement : échantillon composite* ou simple.

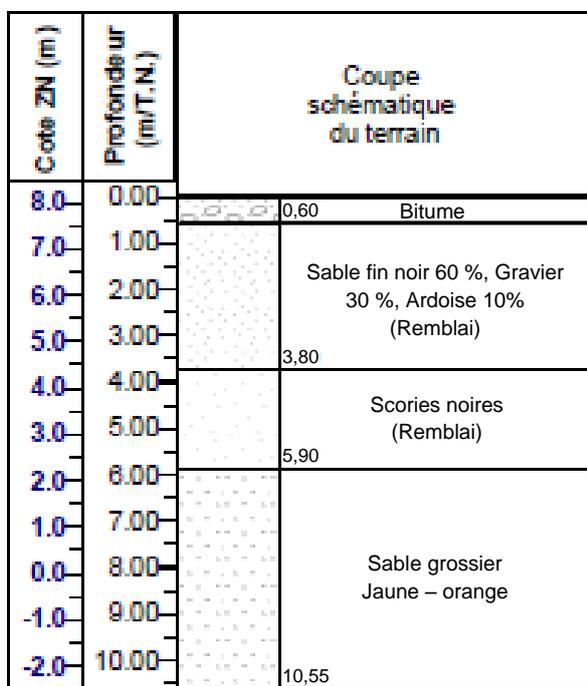
Par exemple, pour un sondage composé des 3 lithologies suivantes : couche A d'épaisseur 0,5 m, couche B d'1,5 m et couche C d'1 m, 3 échantillons différents seront prélevés et analysés, correspondant à 1 échantillon par couche.

* NB : Les échantillons composites sont adaptés pour de nombreux paramètres. La réalisation de composite est en revanche à proscrire pour la recherche de composés volatiles, car l'opération de mélange libère l'essentiel de ces composés dans l'atmosphère.

Plusieurs cas particuliers sont susceptibles d'être rencontrés :

a) Lithologie hétérogène et d'épaisseur significative

Ce cas est illustré à partir d'un cas concret. Sur la coupe suivante, l'opérateur a identifié 2 remblais d'aspects et compositions différents, au-dessus d'une couche de sable grossier. L'idéal est de réaliser un set d'analyses pour caractériser chacun de ces 3 matériaux (2 remblais + sable).



b) Lithologie très hétérogène

Si on rencontre par exemple une couche de 2 m d'un remblai constitué d'alternances décimétriques de 2 matériaux (par exemple matériau sableux et scories), il ne s'agit pas de lancer une vingtaine d'analyses mais d'avoir une analyse moyenne de cette couche.

⇒ 1 échantillon par m d'épaisseur => 2 échantillons analysés.

c) Lithologie homogène sur une assez forte épaisseur

Lorsque la lithologie est homogène sur une assez forte épaisseur (supérieure à 1.5 m) il sera effectué plusieurs échantillons au sein de la couche homogène (un échantillon par 1 m – 1,5 m de lithologie homogène).

Par exemple :

- Lithologie homogène sur 2 m : 1 échantillon par mètre d'épaisseur
⇒ 2 analyses
- Lithologie homogène sur 3 m ou plus : 1 échantillon par 1,5 m d'épaisseur
⇒ 2 analyses pour 3 m, 3 pour 4 m ou 4,5 m...

4. Transmission des résultats

Les résultats seront transmis en version papier (log de sondage, bordereaux de prélèvement, bordereaux d'analyse), et en version numérique : log de sondage (pdf + word/excel copiable ou Gesfor) + bordeaux de prélèvement (pdf), bordereaux d'analyse (pdf), résultats d'analyse dans fichier Excel selon modèle de fichier joint.

Tableau 1 – Lexique pour la description des lithologies rencontrées dans les sondages

Matériaux naturels	
galet	Sédiments, préciser si arrondi, anguleux...
gravier	
sable	
limon	
argile	
débris ligneux	
tourbe	
vase	
Matière organique	Matière constituée d'êtres vivants et de végétaux en décomposition, brun à noire, teinte sombre
amphibolite	Formation du substratum induré en place, plus ou moins altéré (socle paléozoïque, couverture sédimentaire), renseigner état de la roche (saine, altérée, pourrie)
gneiss	
granite	
micaschiste	
filon de quartz	
schiste	
mylonite	
substratum indéterminé	

Matériaux anthropiques	
Ardoise (préciser si naturelle ou reconstituée)	Déchets de bâtiments type composant de gravats
béton	
béton armé	
brique	
carrelage	
Pierre de taille et/ou de construction (préciser si tuffeau, calcaire, granite, schiste, grès...)	
ciment	
plâtre	
ancienne canalisation	
tôle ondulée	
laine de roche/verre	
mousse expansée	
fibro-ciment	
tuile	
Bois (préciser si classe A, B ou C)	Classe A : Correspond à du bois brut non traité (palette, cagette, ...) Classe B : Bois de démolition et dérivés (bois de déchetterie, fenêtre, meuble, ..) Classe C : Bois traité chimiquement (traverse de chemin de fer, palissade, ..)
céramique	
papier	
carton	
plastique	
verre	
Divers (préciser si tissus, déchet végétaux, mousse...)	
calamine	
métal ferreux (préciser si fer, fonte, acier, ...)	Résidus ou morceaux métalliques individualisés
métal non ferreux (préciser si laiton, aluminium, cuivre)	
Cendre (préciser si cendre de pyrite ou cendre indéterminée)	Résidu de combustion de minerai de fer Résidu basique de combustion ou d'incinération de matière organique / combustible
chaux	Matière généralement poudreuse de couleur blanche obtenue par décomposition thermique du calcaire
coke	Produit obtenu par pyrolyse de la houille, bloc noir avant brûlage puis grisâtre
débris caoutchouteux (préciser si pneumatiques ou caoutchoucs divers)	
déchet de station d'épuration	Déchet issu du dégrillage, boues d'épuration, etc.
flocage amiante	
charbon	

laitier	Coproduit de métallurgie, d'aspect gris, teinte variable
mâchefer	Résidu solide de la combustion du charbon, du coke, ou d'incinération d'ordures ménagères, couleur gris à noir
phosphogypse	Gypse non naturel généré durant la fabrication d'engrais phosphaté, plutôt blanc
résidus (/sables) de fonderie	
scorie	Résidu de métallurgie, noirâtre, roche poreuse irrégulière
soufre	Généralement sous forme de cristaux jaune orangé une fois purifiés, en filon naturel apparaît jaune blanchâtre
suie	Résulte de la combustion incomplète de combustibles fossiles et de biomasse, sous forme solide, goudronneuse, noirâtre
goudron	Produits issus de poix modifiée de résineux, produits par distillation destructive sous pyrolyse
bitume	Terme utilisé pour les gisements naturels de goudron de pétrole
pavé	Bloc de pierre utilisé pour le revêtement de chaussée
rail	Barre d'acier profilée utilisée pour le passage des trains
stabilisé	Type de revêtement utilisé pour la confection de chemins ou d'allées, composé d'un mélange de sable, d'argile et de chaux
Dallage (préciser si en béton ou béton armé)	Chape de grande dimension reposant uniformément sur le sol, pouvant être armée par des lames d'acier
couche de forme (préciser si gravier, limon, sable, ...)	Partie de la chaussée située entre la partie supérieure du terrassement et la couche d'assise
couche de surface (préciser si enrobé ou asphalte)	enrobé = mélange de graviers, sable et de liant tel que le goudron ou le bitume avec une plus grande proportion de gravier que l'asphalte (qui recouvre trottoir, court de tennis, etc.)
ballast	
Autres	
terre (préciser si minérale ou humifère)	Terre minérale, dont la texture est à définir contenant peu de matière organique Terre humifère : riche en matière organique et éléments fertilisants tel que l'humus
terreau	Terre enrichie en produit de décomposition (compost, fumier, débris de végétaux décomposés)
Matériaux naturels rapportés (préciser si calcaire, granite, gneiss, schiste, amphibolite, rhyolite, pouzzolane, sable de carrière, sable de dragage...)	

Autres indications

Traces de brûlage

Couleurs

Odeurs

Végétaux

Taux de présence

Majoritaire (> 50 %)

Présent (20 – 50 %)

Faible/minoritaire (5-20 %)

Trace (< 5 %)

Annexe 5

Photos de remblais caractéristiques de l'île de Nantes

T2-C2 : Remblais assimilés naturels – sables de Loire (issus dragage, remblai hydraulique)



T3-C3 : Remblais divers – déchets de démolition, déchets non dangereux (ferraille, bois, verre, ...)



T4-C4 : Remblais douteux ou suspects – contiennent des matériaux potentiellement polluants comme scories, mâchefers, bitume... ; présence fréquente de résidus noirs



Annexe 6
Méthodologie de détermination des fonds
géochimiques naturel ou anthropisé local et
seuils d'anomalie de fond géochimique,
spécifiques à l'île de Nantes

Face aux difficultés et verrous identifiés (données à utiliser, représentativité des données, absence de méthodologie nationale de détermination du fond géochimique), une méthodologie générale a été développée dans le cadre de cette étude. Elle a été appliquée au jeu de données constitué pour l'île de Nantes et fait l'objet d'une analyse critique.

1. Fonds géochimiques et seuils d'anomalie

Afin de répondre au mieux aux besoins opérationnels, une réflexion sur les notions de fond géochimique et de seuil d'anomalie et sur les modes de calcul les plus appropriés a été menée au préalable.

1.1. Définitions

Différentes définitions sont disponibles dans la littérature internationale. Dans ce travail, le BRGM a considéré les contaminants métalliques et organiques et défini les notions suivantes :

- Fond (pédo)géochimique naturel (FGN) : teneurs usuellement rencontrées dans les formations géologiques et les sols, en dehors d'anomalies naturelles ;
- Fond (pédo)géochimique anthropisé (FGA) : teneurs usuellement rencontrées dans les formations géologiques (naturelles et anthropiques) et les sols soumis à des influences anthropiques, et en particulier à des contaminations diffuses, les contaminations ponctuelles étant exclues ;
- Anomalie (pédo)géochimique naturelle : anomalie géochimique d'origine naturelle dans les formations géologiques ou les sols ;
- Anomalie (pédo)géochimique anthropique : anomalie géochimique d'origine anthropique dans les formations géologiques ou les sols.

1.2. Méthodes de calcul

De même que les définitions, des notions peuvent varier d'un auteur/pays à un autre, et évoluer dans le temps, diverses méthodes de calcul sont proposées dans la littérature internationale pour définir un fond géochimique (naturel ou anthropisé) : il s'agit généralement d'approches statistiques (moyenne géométrique, percentiles, vibrisses) (Reimann et al., 2005 ; SPAQuE (2010) ; Ander et al., 2011 ; Tarvainen and Jarva, 2011 ; APAT-ISS, 2011 ; Cave et al., 2012 ; Ander et al., 2013 ; Appleton et al., 2013, Rothwell and Cooke, 2015) voire géostatistiques. La norme ISO/DIS 19258:2016(E) en cours de révision recommande de s'appuyer sur les percentiles, et en particulier sur le 90^{ème} percentile.

La notion d'anomalie est apparue intéressante également à explorer. Pour définir des seuils d'anomalie, on s'est appuyé sur les travaux de Villanneau et al. (2008) qui calcule les seuils d'anomalie à partir de la vibrisse supérieure, en s'appuyant sur la méthode de Tukey (1977). Cette approche a été appliquée sur des sols naturels ou cultivés, pour les éléments traces métalliques. La vibrisse supérieure est calculée à

partir des 75^{ème} et 25^{ème} percentiles (Equation 1). On a considéré le facteur α égal à 1,5 comme Villanneau (2008) et Tarvainen and Jarva (2011).

$$\text{Vibrisse supérieure} = D75 + \alpha (D75 - D25) \quad \text{avec } \alpha = 1,5 \quad (\text{Équation 1})$$

L'illustration A6-1 précise les positions relatives des percentiles sur une boîte à moustache et sur un histogramme. La boîte à moustache indique également la position de la vibrisse supérieure.

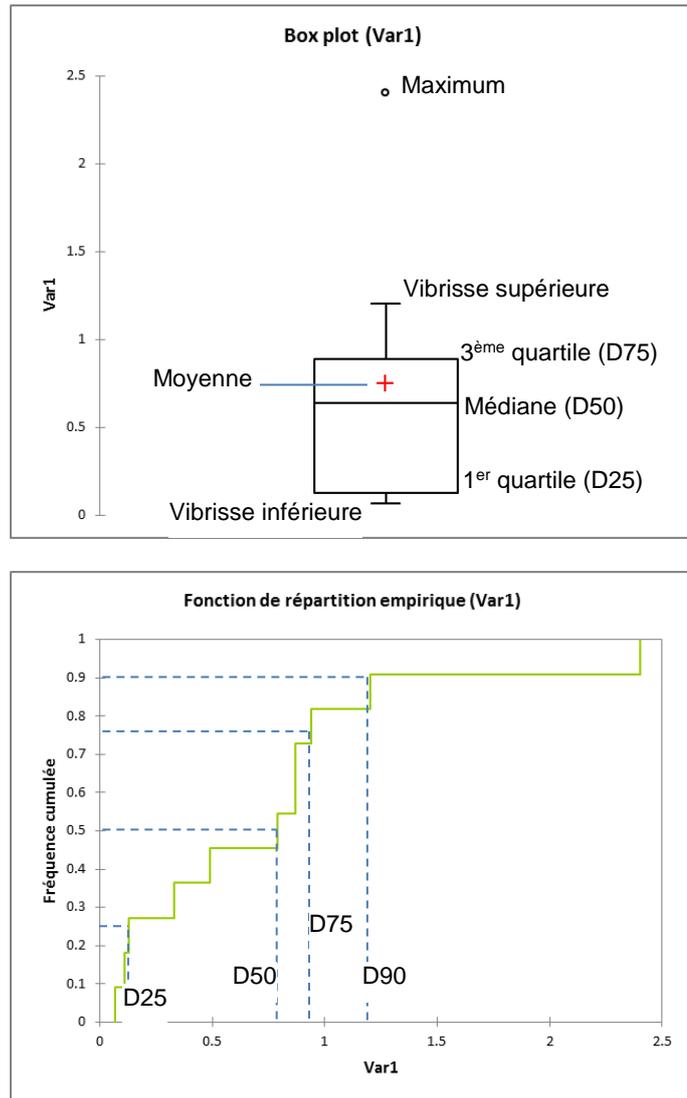


Illustration A6-1 : Exemple de boîte à moustache et de fonction de répartition obtenue à partir du jeu de données disponible, précisant la position relative des percentiles et des vibrisses.

2. Méthodologie générale

Cette méthodologie générale a été développée pour déterminer les fonds géochimiques naturel et anthropisé, et les seuils d'anomalie qui seront utilisés en vue de la gestion des terres excavées, et en particulier en vue de leur réutilisation hors site¹³. Les étapes successives ont été mises en œuvre de manière itérative. Les détails de certains développements sont précisés dans les chapitres 3 et 4.

2.1. Méthode de tri de données pour atténuer les biais de représentativité des données

Compte-tenu de la présence de teneurs liées à des pollutions ponctuelles (et donc non représentatives d'un fond géochimique), les méthodes de tri proposées usuellement dans la littérature scientifique pour éliminer les valeurs extrêmes (ex. Ander, 2013 ; Villanneau 2008) étaient difficilement applicables telles quelles.

Sur la base de courbes de répartition des données, des seuils d'écrémage des données ont été définis (cf. §3) et appliqués par paramètre.

- Paramètres organiques : prise en compte de seuils réglementaires ou fréquemment utilisés ;
- Paramètres inorganiques : prise en compte du 90^{ème} percentile (fond géochimique naturel ou peu anthropisé - FGN) calculé à partir des échantillons de référence prélevés sur l'île Héron et à la pointe Est de l'île de Nantes, sur lequel a été appliqué un facteur 10 (§3.2 de cette même annexe).

2.2. Détermination des fonds géochimiques et des seuils d'anomalie

Le fond géochimique naturel (FGN) des alluvions a été supposé avoir pour maximum le 90^{ème} percentile (D90) du jeu de données triées. Par rapport au jeu de données disponibles (données BRGM et données BE), le D90 est apparu en effet plus représentatif que le D95 (utilisé par exemple par Ander et al., 2013). Par analogie, le D90 du jeu de données triées a été utilisé pour calculer le fond géochimique anthropisé (FGA).

Le seuil d'anomalie de fond géochimique pris en compte, correspond à la vibrisse supérieure, en adéquation avec les travaux de Villanneau et al. (2008) (cf. plus haut).

2.3. Critique des seuils d'anomalie définis

Afin de juger de la pertinence des seuils d'anomalie et des valeurs de fond géochimique, les valeurs ont été confrontées selon la méthodologie suivante :

- a) Vérification du postulat de base sur les fonds géochimiques : $FGA \geq FGN$

¹³ Voir « Guide de réutilisation hors-site des terres excavées en technique routière et dans des projets d'aménagement », RP-60013-FR, février 2012

Pour vérifier ce postulat, les résultats de fond géochimique anthropisé ont été comparés avec le fond géochimique naturel calculé pour les alluvions.

b) Vérification du 2^{ème} postulat : Seuils anomalie FGA \geq FGA (idem pour FGN)

Pour vérifier ce postulat, les résultats de seuils d'anomalie et de fonds géochimiques anthropisés ont été comparés. Il en a été de même pour les seuils d'anomalies et fond géochimique naturel.

c) Ajustement des seuils si besoin selon postulats de base (cf. 2.1)

3. Détermination des seuils de coupure pour éliminer les valeurs extrêmes

Ce chapitre détaille la première étape de la méthodologie.

Il a été choisi de s'appuyer sur des valeurs seuil pour écrémer les teneurs les plus susceptibles de correspondre à des pollutions ponctuelles. Pour affiner le tri des données, une approche géostatistique serait utile. Elle n'a pu être mise en œuvre ici faute de moyens et compte-tenu des développements nécessaires.

3.1. Paramètres avec nombre significatif de teneurs correspondant à des pollutions ponctuelles

Paramètres	Alluvions	Remblais
Organiques	C10-C40	C10-C40, BTEX, 16 HAP, HAP individuels, PCBi,
Inorganiques	Aucun	Pb, Cu, Hg, Sb, As, Cd

Tableau A6.1 : Paramètres avec nombre significatif de teneurs correspondant à des pollutions ponctuelles

Pour identifier les paramètres avec un nombre significatif de teneurs élevées, le BRGM a réalisé par paramètre des graphes représentant les teneurs mesurées dans les alluvions et les remblais. Pour les paramètres inorganiques, une comparaison avec le fond géochimique naturel a été menée. Pour les paramètres organiques, on a comparé avec les seuils de gestion disponibles (cf.§3.2).

3.2. Valeurs d'écrémage

Des essais ont été réalisés avec différentes valeurs d'écrémage, tant pour les paramètres organiques que pour les paramètres inorganiques. Pour les paramètres

organiques¹⁴, les seuils de gestion disponibles sont apparus pertinents. Pour le paramètre Hydrocarbures C₁₀-C₄₀, le seuil d'écrémage à 500 mg/kg_MS est apparu trop restrictif eu égard aux calculs statistiques sur données après tri. Le seuil de 1000 mg/kg a été ainsi testé. Les résultats statistiques apparaissent finalement assez similaires. Pour les paramètres inorganiques, le seuil correspondant à 10 fois le FGN des alluvions est apparu le plus adéquat pour un tri rapide (automatisé) des données. Avec le seuil 4xFGN par exemple, le saut de teneur était insuffisant par rapport à la variabilité naturelle possible des teneurs.

Paramètre	FGN Alluvions (D90) (mg/kg_MS)	Seuil d'écrémage retenu (FGN X 10) (mg/kg_MS)
Sb	2,3	23
As	28	283
Cd	0,5	5
Cu	24	240
Hg	0,08	0,8
Pb	54	540

Paramètre	Seuils sanitaire 2 de réutilisation terres excavées (critère 3) (mg/kg MS)	Seuils ISDI (mg/kg MS)	Seuil d'écrémage retenu (mg/kg_MS)
C10-C40	500	500	500*
Somme 16 HAP		50	50
Benzo(a)pyrène (et autres HAP individuels hors naphthalène)			50
Somme 7 PCBi	0,1	1	1
BTEX		6	6

*Tableau A6-2 : Seuils d'écrémage retenus pour éliminer les pollutions ponctuelles dans le jeu de données constitué (*seuil d'écrémage à 1000 également testé)*

Les Illustrations A6-2 et A6-3 permettent de visualiser l'impact de l'écrémage sur le jeu de données, tandis que les résultats de l'application de cette méthodologie sont détaillés dans le chapitre suivant.

¹⁴ Dans les sols naturels peuvent se trouver naturellement des hydrocarbures, en lien notamment avec la maturation de la matière organique (C10-C40 par exemple), ou suite à des incendies (HAP en particulier)

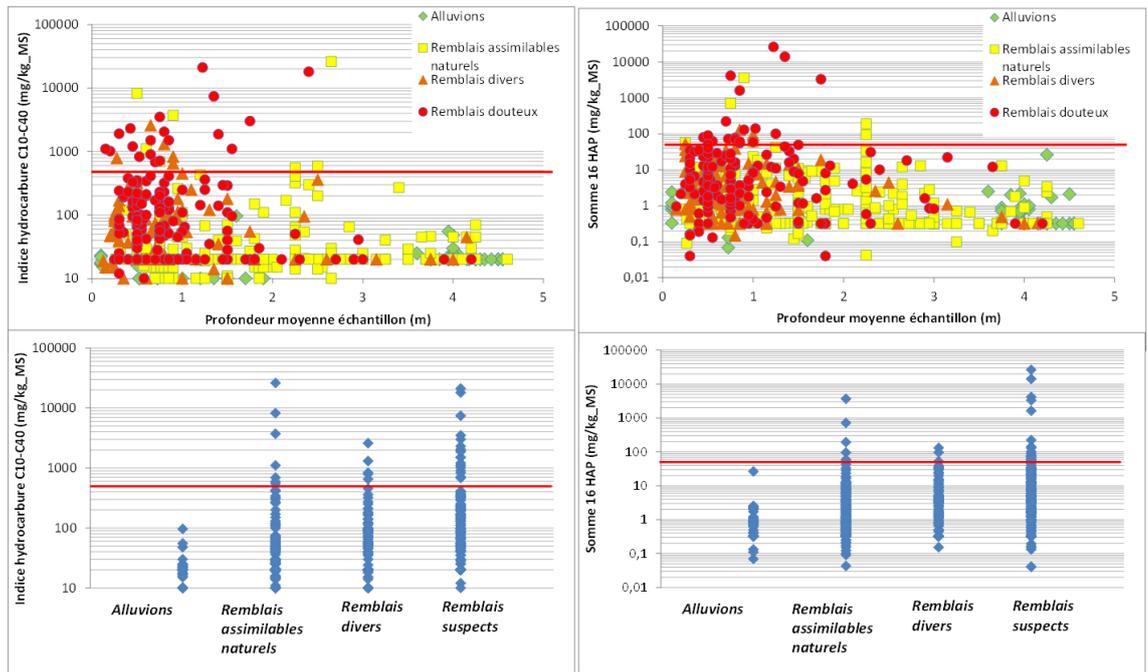
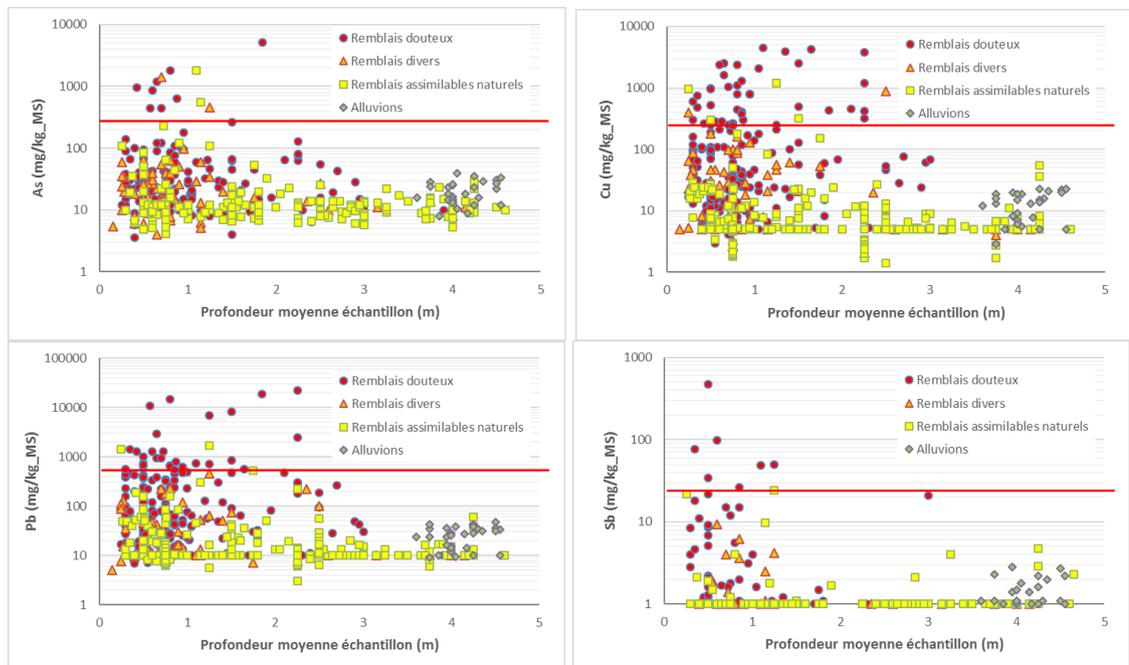


Illustration A6-2 : Exemples de visualisation de l'écrémage parmi les paramètres organiques les plus concernés



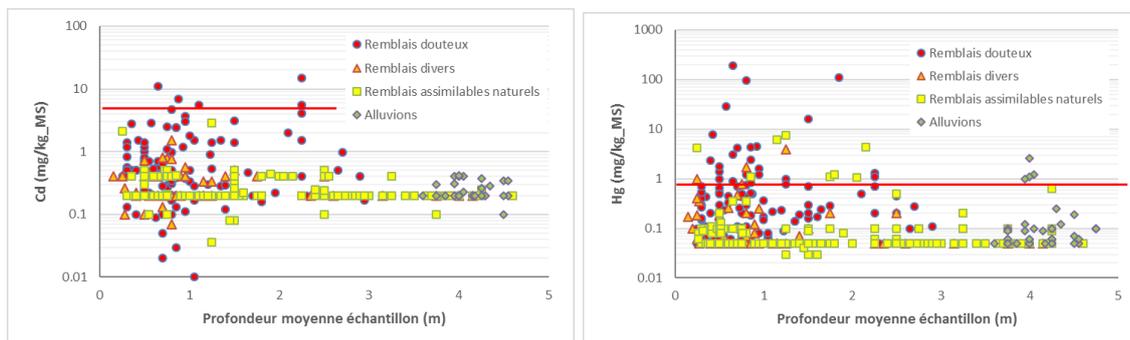


Illustration A6-3 : Visualisation de l'écrémage pour les paramètres inorganiques concernés

4. Détermination des fonds géochimiques et des seuils d'anomalie

4.1. Statistiques descriptives sur données triées

		Sb	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Zn
Alluvions Héron - Crapa	Nombre de valeurs	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
	Minimum	5	7.8	29	0.4	7.8	5	0.05	5	9.9	5.5	20
	Maximum	5	44	230	0.52	66	27	0.18	5	46	73	140
	Ecart type	0	0.7	57	0.04	16	8	0.04	0	9	19	38
	1 ^{er} quartile (D25)	5	9.6	54	0.4	19	6	0.05	5	15	13	45
	Médiane (D50)	5	15	72	0.4	24	8	0.05	5	20	18	57
	3 ^{ème} quartile (D75)	5	25	135	0.4	43	18	0.05	5	30	38	102
	90^{ème} percentile (D90)	5	28	170	0.4	49	24	0.08	5	32	54	132
Vibrisse supérieure	5	48	257	0.4	80	36	0.05	5	52	74	188	

		Naphtalène	Benzo(a)pyrène	Somme 16 HAP	Total C10-C40
Alluvions Héron - Crapa	Nb de valeurs	19	19	19	19
	Minimum	0.03	0.03	0.05	10
	Maximum	0.03	0.24	2.4	96
	1 ^{er} quartile (D25)	0.03	0.03	0.05	10
	Médiane (D50)	0.03	0.03	0.11	10
	3 ^{ème} quartile (D75)	0.03	0.08	0.83	17.5
	90^{ème} percentile (D90)	0.03	0.09	0.99	22
	Vibrisse supérieure	0.03	0.17	2	29

Tableau A6-3: Statistiques descriptives des données représentatives de contaminations anthropiques diffuses (et de présence naturelle) par paramètre inorganique analysé dans la fraction solide dans les alluvions prélevés sur l'île Héron et à la pointe Est de l'île de Nantes (Crapa). En italique, valeurs inférieures à la limite de quantification

		Sb	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Zn
T4 (0-5 m)	Nombre de valeurs	67	179	74	175	183	151	196	72	174	168	185
	Minimum	<i>1</i>	3.6	23	<i>0.01</i>	5	3	<i>0.05</i>	<i>0.5</i>	2	6.9	15
	Maximum	18	260	400	4.7	240	240	0.8	26	140	500	1300
	Ecart type	3.8	34	85	0.8	24	48	0.2	3.2	21	129	250
	1 ^{er} quartile (D25)	<i>1</i>	13	37	0.2	10	11	<i>0.05</i>	<i>0.5</i>	9	19	36
	Médiane (D50)	1.1	20	49	0.3	14	24	0.1	0.7	13	44	78
	3 ^{ème} quartile (D75)	2.2	40	77	0.5	24	61	0.2	1.3	23	113	240
	90^{ème} percentile (D90)	8.5	78	160	1.4	40	110	0.4	2.4	43	326	512
	Vibrissse supérieure	4	80.5	138	0.95	45	136	0.3	2.5	44	253	546
T3 (0-5 m)	Nombre de valeurs	32	59	32	61	61	66	78	32	65	68	67
	Minimum	<i>1</i>	4	20	0.07	5.2	2.1	<i>0.05</i>	<i>0.5</i>	3	5	15
	Maximum	9.3	98	86	1.5	41	180	0.77	4.2	33	450	510
	Ecart type	1.8	19	15	0.2	7	39	0.1	0.8	6	80	104
	1 ^{er} quartile (D25)	<i>1</i>	10	29	0.2	10	5	<i>0.05</i>	<i>0.5</i>	9	10	23
	Médiane	<i>1</i>	16	33	0.2	10	10	<i>0.05</i>	<i>0.5</i>	10	13	35
	3 ^{ème} quartile (D75)	1.5	30	45	0.4	15	42	0.1	0.8	14	55	80
	90^{ème} percentile (D90)	4.0	51	50	0.5	23	88	0.2	1.5	18	173	168
	Vibrissse supérieure	2	60	68	1	23	97	0.2	1	22	123	166
T2 (0-5 m)	Nombre de valeurs	122	168	122	165	165	219	246	121	216	222	220
	Minimum	<i>1</i>	4	20	0.04	4	0.9	<i>0.03</i>	0.12	3	3	7
	Maximum	9.7	230	150	2.9	47	180	0.64	3.4	37	520	1200
	Ecart type	<i>1</i>	24	23	0.3	7	17	0.1	0.5	7	47	107
	1 ^{er} quartile (D25)	<i>1</i>	8	28	0.2	10	5	<i>0.05</i>	<i>0.5</i>	8	10	20
	Médiane (D50)	<i>1</i>	11	32	0.2	10	5	<i>0.05</i>	<i>0.5</i>	10	10	22
	3 ^{ème} quartile (D75)	<i>1</i>	14	41	0.22	14	8	<i>0.05</i>	<i>0.5</i>	13	17	40
	90^{ème} percentile (D90)	1.2	23	63	0.4	21	20	0.1	0.8	21	45	89
	Vibrissse supérieure	1	22	61	0.25	20	12	0.05	0.5	20	27	70
T1 (0-5 m)	Nombre de valeurs	21	26	21	26	26	29	34	21	29	29	29
	Minimum	<i>1</i>	8	33	0.1	10	3	<i>0.05</i>	<i>0.5</i>	8	9	20
	Maximum	2.8	39	220	0.4	63	23	0.25	1.4	39	47	130
	Ecart type	0.6	8	59	0.1	16	6	0.0	0.2	9	12	32
	1 ^{er} quartile (D25)	1.1	14	76	0.2	21	8	0.05	0.5	18	14	45
	Médiane (D50)	1.4	20	130	0.2	33	14	0.08	0.5	23	27	75
	3 ^{ème} quartile (D75)	2	27	180	0.3	49	19	0.1	0.5	31	35	95
	90^{ème} percentile (D90)	2.3	32	200	0.4	57	21	0.1	0.7	36	40	110
	Vibrissse supérieure	3.4	45	336	0.6	90	36	0.2	0.6	51	67	171

Tableau A6-4: Statistiques descriptives des données représentatives de contaminations anthropiques diffuses (et de présence naturelle) par paramètre inorganique analysé dans la fraction solide et par type de remblai défini sur l'île de Nantes (T4 : douteux, T3 : divers, T2 : assimilés naturels) et pour les alluvions (T1). En italique, valeurs inférieures à la limite de quantification

		Naphtalène	Benzo(a)pyrène	Somme 16 HAP	Total C10-C40	Ben-zène	Toluène	Ethylbenzène	Xylènes	Trichloroéthylène	Chlorure de vinyl	Somme PCBi
T4 (0-5 m)	Nombre de valeurs	290	303	249	274	259	275	272	100	100	98	110
	Minimum	0.01	0.02	0.04	8	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.02	0.008
	Maximum	2	39	49	500	0.25	1.1	0.5	11	9.3	0.1	0.1
	Ecart type	0.32	4	13	116	0.05	0.15	0.06	1.10	1.1		0.03
	1 ^{er} quartile (D25)	0.05	0.3	2.5	33	0.05	0.06	0.05	0.05	0.02	0.02	0.014
	Médiane (D50)	0.1	1.1	8.1	89	0.1	0.1	0.1	0.06	0.02	0.02	0.014
	3 ^{ème} quartile (D75)	0.31	3	19	188	0.1	0.15	0.1	0.14	0.1	0.05	0.03
	90^{ème} percentile (D90)	0.57	6	34	310	0.14	0.27	0.1	0.31	0.13	0.1	0.07
	Vibrisse supérieure	0.69	7	43	420	0.18	0.29	0.18	0.28	0.22	0.10	0.05
T3- 0-5 m)	Nombre de valeurs	101	102	92	106	90	90	90	50	38	38	51
	Minimum	0.01	0.014	0.14	10	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.007
	Maximum	0.59	4.9	42	451	0.2	0.31	0.1	0.23	1.3	0.1	0.083
	Ecart type	0.12	1.10	10	83	0.03	0.04	0.02	0.04	0.28		0.014
	1 ^{er} quartile (D25)	0.02	0.05	0.6	20	0.05	0.05	0.05	0.05	0.02	0.02	0.014
	Médiane (D50)	0.05	0.19	1.9	36	0.05	0.05	0.05	0.05	0.02	0.02	0.014
	3 ^{ème} quartile (D75)	0.07	0.80	7.7	94	0.09	0.1	0.05	0.05	0.02	0.02	0.06
	90^{ème} percentile (D90)	0.22	2.6	20	170	0.1	0.1	0.1	0.1	0.07	0.03	0.07
	Vibrisse supérieure	0.15	1.91	18	204	0.16	0.18	0.05	0.05	0.02	0.02	0.12
T2 (0-5 m)	Nombre de valeurs	295	300	235	318	264	266	266	141	142	141	147
	Minimum	0.01	0.01	0.03	10	0.01	0.01	0.01	0.04	0.05	0.02	0.014
	Maximum	1.9	18	46	500	0.22	4.2	28	0.92	0.23	0.1	0.07
	Ecart type	0.14	1.13	5.8	59	0.02	0.26	1.7	0.07	0.03		
	1 ^{er} quartile (D25)	0.02	0.02	0.3	20	0.05	0.05	0.05	0.05	0.02	0.02	0.014
	Médiane (D50)	0.03	0.05	0.5	20	0.05	0.05	0.05	0.05	0.02	0.02	0.014
	3 ^{ème} quartile (D75)	0.05	0.11	1.8	25	0.05	0.06	0.05	0.05	0.02	0.02	0.014
	90^{ème} percentile (D90)	0.05	0.49	6.6	69	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	0.03	0.014
	Vibrisse supérieure	0.10	0.25	4	33	0.05	0.07	0.05	0.05	0.02	0.02	0.014
T1 (0-5 m)	Nombre de valeurs	32	32	30	33	28	28	28	23	23	23	21
	Minimum	0.02	0.02	0.19	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.02	0.02	0.007
	Maximum	0.65	2.1	26	240	0.1	0.1	0.1	0.05	15.3	0.1	0.014
	Ecart type	0.11	0.47	6.2	50	0.01	0.01	0.01	0.00	3.18		
	1 ^{er} quartile (D25)	0.02	0.02	0.3	20	0.05	0.05	0.05	0.05	0.02	0.02	0.014
	Médiane (D50)	0.02	0.05	0.8	20	0.05	0.05	0.05	0.05	0.02	0.02	0.014
	3 ^{ème} quartile (D75)	0.04	0.13	1.6	24	0.05	0.05	0.05	0.05	0.02	0.02	0.014
	90^{ème} percentile (D90)	0.05	0.19	2.2	54	0.05	0.05	0.05	0.05	0.02	0.02	0.014
	Vibrisse supérieure	0.08	0.29	3.6	30	0.05	0.05	0.05	0.05	0.02	0.02	0.014

Tableau A6-5 : Statistiques descriptives des données représentatives de contaminations anthropiques diffuses (et de présence naturelle) par paramètre inorganique analysé et par type de remblai défini sur l'île de Nantes (T4 : douteux, T3 : divers, T2 : assimilés naturels) et pour les alluvions (T1). En italique, valeurs inférieures à la limite de quantification

4.2 Fonds géochimiques et seuils d'anomalie

Comme évoqué ci-dessus, les seuils maximums de fond géochimique ont été considérés comme correspondant au 90^{ème} percentile, et les seuils d'anomalie à la vibrisse supérieure.

Lorsque la vibrisse supérieure est inférieure au D90, on a défini un seuil de compatibilité de fond géochimique, égal au maximum entre les 2 valeurs.

Bibliographie relative à cette annexe

Ander E. L., Johnson C. C., Cave M. R., Palumbo-Roe B., Nathanail C. P., & Lark R. M. (2013). Methodology for the determination of normal background concentrations of contaminants in English soil. *Science of the Total Environment*, 454, 604-618.

Ander E. L., Cave M. R., Johnson C. C., & Palumbo-Roe B. (2011), Normal background concentrations of contaminants in the soils of England: available data and data exploration.

APAT-ISS. Protocollo Operativo per la determinazione dei valori di fondo di metalli /metalloidi nei suoli dei siti d'interesse nazionale. Revisione 0. Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici and Istituto Superiore di Sanita ; 2006 [in Italian].

Appleton J. D., Johnson C. C., Ander E. L., & Flight D. M. A. (2013). Geogenic signatures detectable in topsoils of urban and rural domains in the London region, UK, using parent material classified data. *Applied Geochemistry*, 39, 169-180.

Arrêté du 12 décembre 2014 relatif aux conditions d'admission des déchets inertes dans les installations relevant des rubriques 2515, 2516, 2517 et dans les installations de stockage de déchets inertes relevant de la rubrique 2760 de la nomenclature des installations classées, JORF n°0289, 14 décembre 2014, p. 21032.

Blanc C., avec la participation de Lefevre F. (MEDDTL), Boissard G., Scamps M. (BRGM) et Hazebrouck B. (INERIS), 2012, *Guide de réutilisation hors site des terres excavées en technique routière et dans des projets d'aménagement*. BRGM/RP-60013-FR, 53p.

BSI. Soil quality: guidance on the determination of background values. BS EN ISO 19258:2011. International Organisation for Standardisation; 2011 [revision of BS ISO 19258:2005; 2011].

Cave M. R., Johnson C. C., Ander E. L., & Palumbo-Roe B. (2012), Methodology for the determination of normal background contaminant concentrations in English soils.

ISO/DIS 19258:2016(E) Soil quality — Guidance on the determination of background values

Matschullat J., Ottenstein R., & Reimann C. (2000), Geochemical background—can we calculate it? *Environmental Geology*, 39(9), 990-1000.

Reimann C., Filzmoser P., & Garrett R. G. (2005), Background and threshold: critical comparison of methods of determination. *Science of the Total Environment*, 346(1), 1-16.

Rothwell K. A., & Cooke M. P. (2015), A comparison of methods used to calculate normal background concentrations of potentially toxic elements for urban soil. *Science of The Total Environment*, 532, 625-634.

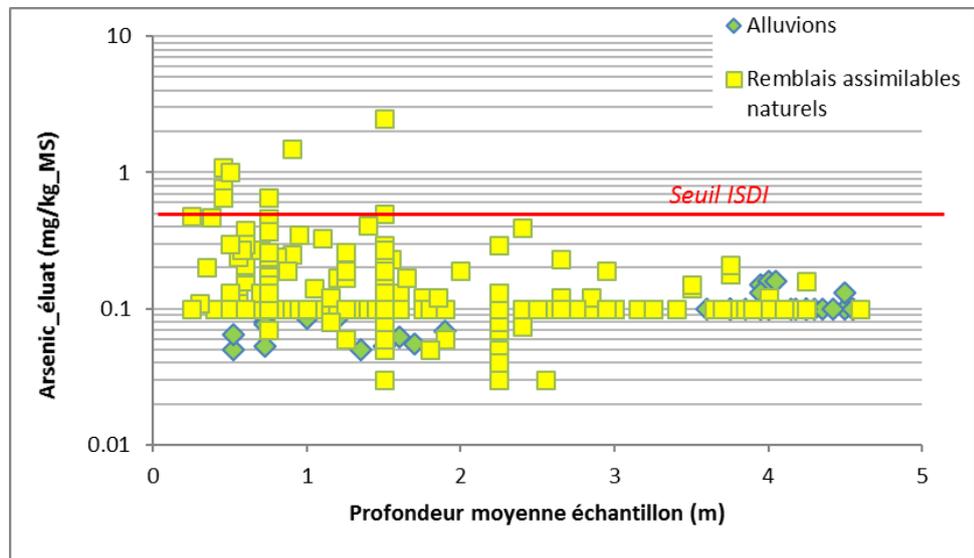
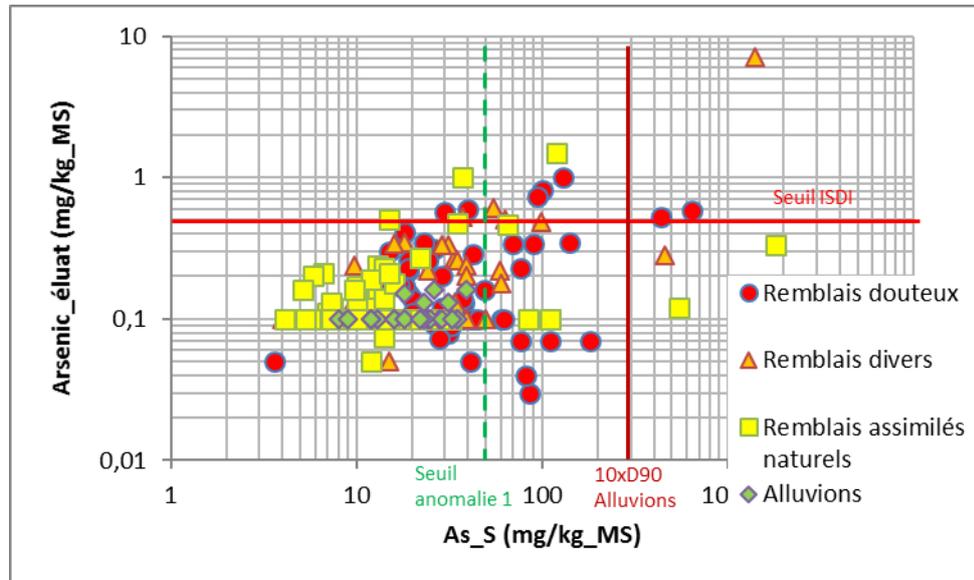
SPAQuE (2010), Guide pour la définition des concentrations de fond en polluants dans les sols de Wallonie. Cahier de bonnes pratiques n° 10, CBP-10-1.1-1001, 84 p.

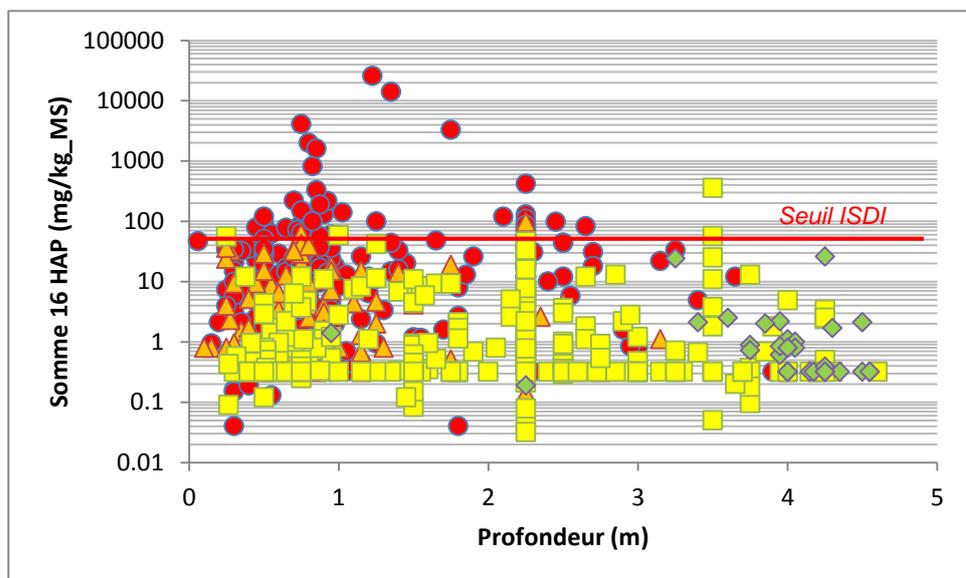
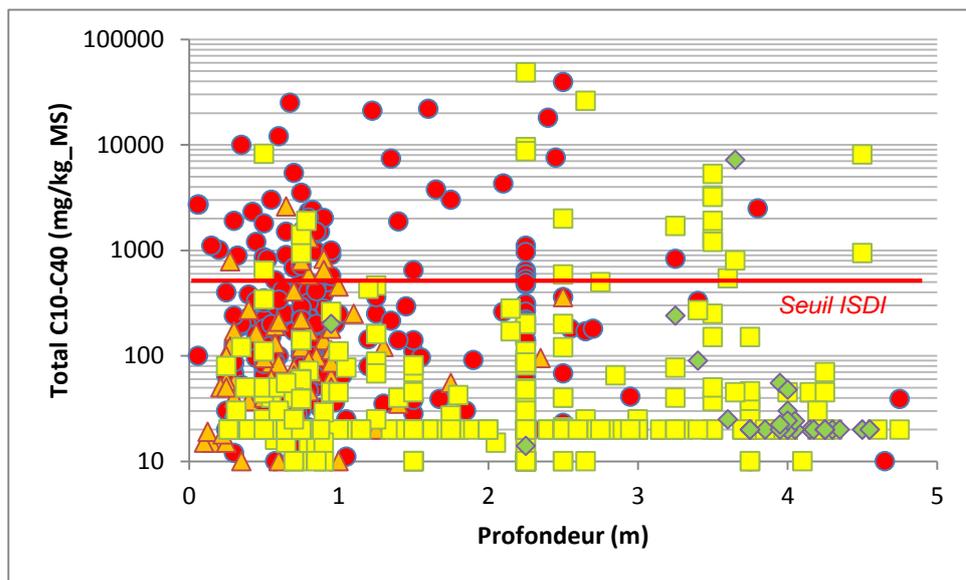
Tarvainen T., & Jarva J. (2011), Using geochemical baselines in the assessment of soil contamination in Finland. in Johnson, C.C., Demetriades, A., Locutura, J. & Ottesen, R.T. (Editors), 2011. Mapping the chemical environment of urban areas. Wiley-Blackwell, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, U.K., p. 223-231.

Tukey J. W. (1977), *Exploratory data analysis*. Addison Wesley, Reading, Massachusetts.

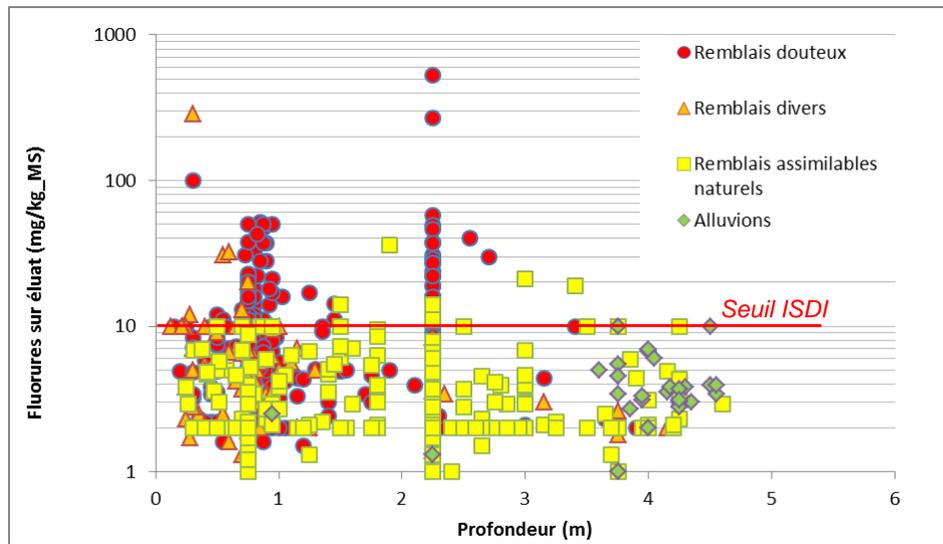
Villanneau E., Perry-Giraud C., N. Saby, C. Jolivet, F. Marot, D. Maton, A. Floch-Barneaud, V. Antoni et D. Arrouays (2008) Détection de valeurs anormales d'éléments traces métalliques dans les sols à l'aide du Réseau de Mesure de la Qualité des Sols, *étude et Gestion des Sols*, Volume 15(3) p.183-200.

Annexe 7
**Distribution des résultats de caractérisation
selon le pack ISDI en fonction des typologies de
matériaux définies, pour une sélection de
paramètres**

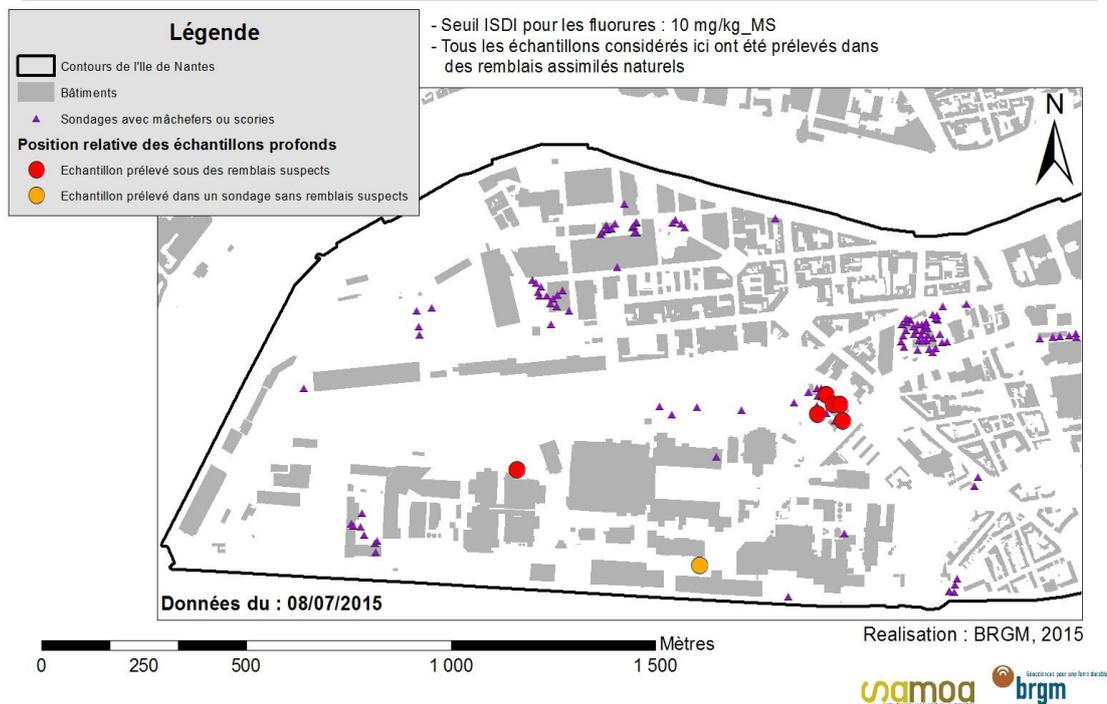


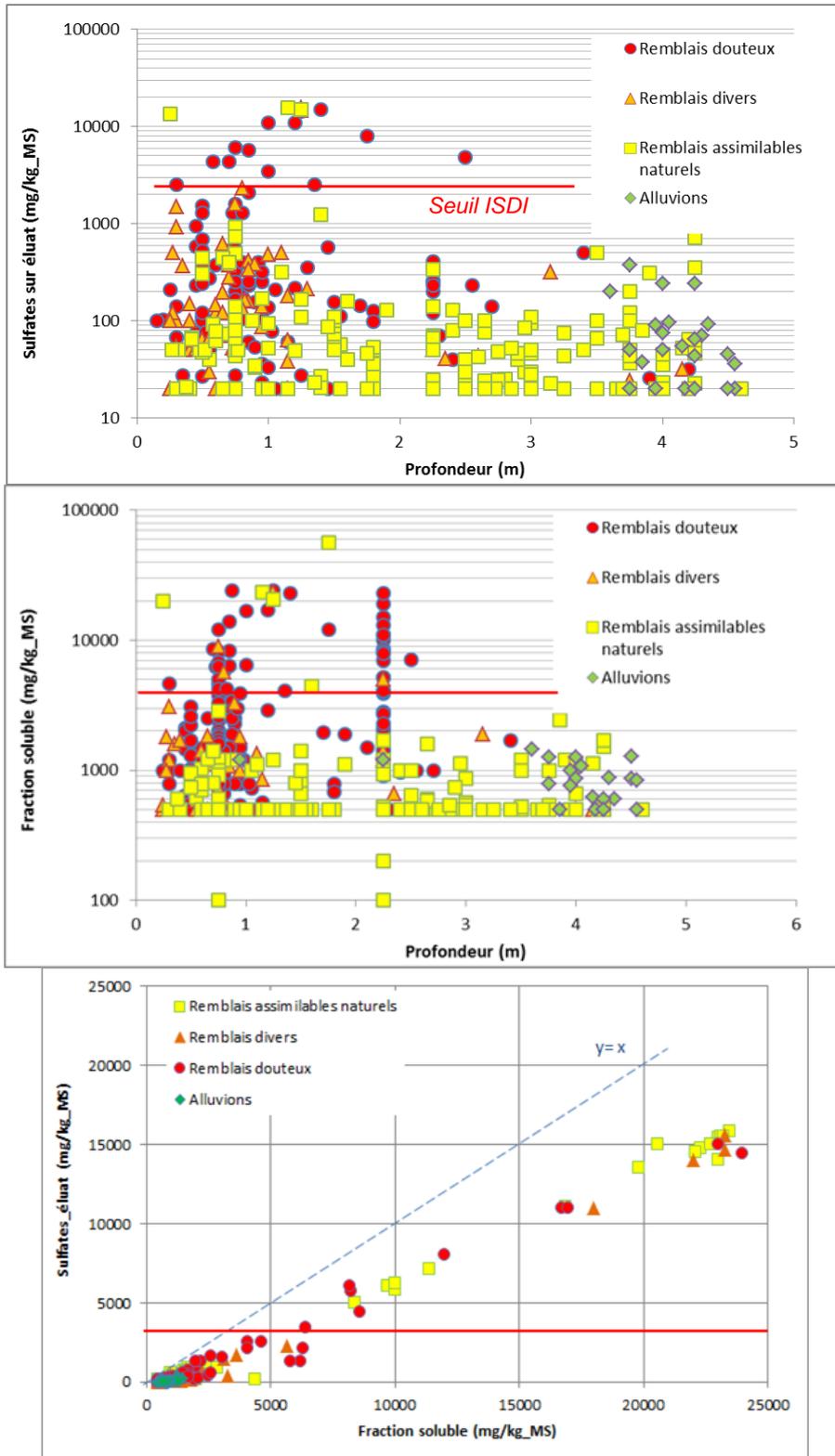


- Remblais suspects
- ▲ Remblais divers
- Remblais assimilables naturels
- ◆ Alluvions



Localisation des sondages présentant des échantillons profonds dépassant le seuil ISDI en fluorures







Sources de pollutions potentielles de composés minéraux sulfurés d'après les connaissances sur les activités passées 250 Mètres

- Présence probable
- Absence présumée
- Présence possible

Niveau maximal de sulfates mesuré à moins de deux mètres de profondeur
(en analyse sur éluat, en mg/Kg de MS)

- 20 - 1 000
- 1 000 - 10 000
- 10 000 - 15 800



Réalisation BRGM 2015. Sources : BRGM, Orthophoto IGN 2004.



Anciennes industries et activités de service potentiellement polluantes 250 Mètres

Localisation des installations

Épaisseur du remblais suspect (en mètres)

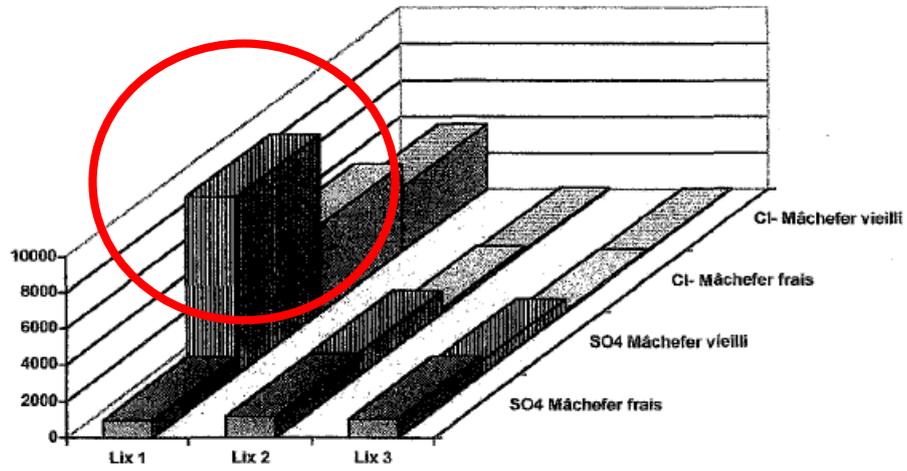
- 0 - 0,5
- 0,5 - 1,5
- 1,5 - 2,5
- 2,5 - 4
- 4 - 8

Niveau maximal de sulfates mesuré à moins de deux mètres de profondeur
(en analyse sur éluat, en mg/Kg de MS)

- 20 - 1 000
- 1 000 - 10 000
- 10 000 - 15 800



Sulfates libérés par des mâchefer vieillis



Pépin et Bartet, 1999



Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Direction Régionale des Pays de la Loire
1, rue des Saumonières
BP 92342
44323 NANTES cedex 3 – France
Tél. : 02 51 86 01 51