



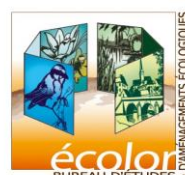
REQUALIFICATION DE LA FRICHE KLEBER (ESSEY-LES-NANCY) PAR PHYTOMANAGEMENT DE LA POLLUTION

ETUDE DE FAISABILITE OPERATIONNELLE

PLAN DE GESTION

8515236

**métropole
GrandNancy**



REQUALIFICATION DE LA FRICHE KLEBER (ESSEY-LES-NANCY) PAR PHYTOMANAGEMENT

ETUDE DE FAISABILITE OPERATIONNELLE

Métropole du Grand Nancy

Plan de Gestion

VERSION	DESCRIPTION	ÉTABLI(E) PAR	APPROUVÉ(E) PAR	DATE
1	Plan de Gestion	ARTELIA : M. KOWALEWSKI Q. DEPARDE PHYTORESTORE : R. BASSY M. MENDEZ S. SOENARJO ECOLOR : Quentin GAMA	ARTELIA : S. FOURNY PHYTORESTORE : T. JACQUET ECOLOR : Thierry DUVAL Nicolas MORTELETTE	22/06/2023
2	Mise à jour suite nouvelle phase d'investigations du PCT	ARTELIA : E. LORNE PHYTORESTORE : R. BASSY	Q. DEPARDE	26/10/2023

Entité Sites et Sols Pollués
21 rue de la Haye – 67300 Schiltigheim – TEL : +33 (0)3 88 04 04 00



CERTIFICATION
RÉGLEMENTAIRE
Attestations prévues par le code
de l'environnement pour les
CESSATIONS D'ACTIVITÉ
et les
SITES ET SOLS POLLUÉS
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

ATTES ALUR
ATTES SECUR
ATTES MEMOIRE
ATTES TRAVAUX

ISO 9001
ISO 14001
ISO 45001
BUREAU VERITAS
Certification



ARTELIA - Siège Social : 16, rue Simone Veil - 93400 Saint-Ouen-sur-Seine - France
SAS au Capital de 13 262 150 Euros - 444 523 526 RCS Bobigny - SIRET 444 523 526 00804 - APE 7112B
N° Identification TVA : FR 40 444 523 526 - www.arteliagroup.com

Plan de Gestion

REQUALIFICATION DE LA FRICHE KLEBER (ESSEY-LES-NANCY) PAR PHYTOMANAGEMENT DE LA POLLUTION

SOMMAIRE

LISTE DES ABREVIATIONS	8
RÉSUMÉ NON TECHNIQUE.....	9
CONTEXTE - PROBLÉMATIQUE	11
2. SOURCES DE DONNÉES CONSULTÉES	13
3. SYNTHÈSE DU CONTEXTE DU SITE.....	14
3.1. SITUATION GÉOGRAPHIQUE DU SITE	14
3.2. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL DU SITE	14
3.3. RAPPEL DE L'HISTORIQUE	15
3.3.1. SYNTHÈSE DES INVESTIGATIONS PRÉCÉDENTES.....	16
3.3.2. SOURCES POTENTIELLES DE POLLUTION	17
4. PROJET D'AMÉNAGEMENT	19
5. SYNTHÈSE DES RESULTATS DES DIAGNOSTICS ENVIRONNEMENTAUX	20
5.1. ENJEUX ÉCOLOGIQUES.....	20
5.1.1. MÉTHODOLOGIE DE HIÉRARCHISATION DES ENJEUX PATRIMONIAUX	20
5.1.1.1. HIÉRARCHISATION DES HABITATS BIOLOGIQUES	20
5.1.1.2. HIÉRARCHISATION DES ESPÈCES	20
5.1.1.3. SYNTHÈSE DES ENJEUX « ESPÈCES » ET « HABITATS »	21
5.1.2. ENJEUX PATRIMONIAUX LIÉS AUX HABITATS BIOLOGIQUES.....	21
5.1.3. ENJEUX LIÉS AUX ESPÈCES	24
5.1.4. SYNTHÈSE DES ENJEUX	27
5.1.5. ENJEUX RÉGLEMENTAIRES	29
5.2. DIAGNOSTIC COMPLÉMENTAIRE DE POLLUTION	31
5.2.1. RAPPEL DU SCHÉMA CONCEPTUEL INITIAL	31
5.2.2. INVESTIGATIONS RÉALISÉES	32
5.2.3. RÉSULTATS DES ANALYSES POLLUTION ET AGRONOMIE.....	34
5.2.3.1. Analyses pollution	34
5.2.3.1. Analyses agronomiques	37
5.2.3.2. Résultats d'analyses des gaz du sol.....	39
5.2.4. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS	40
5.2.4.1. Identification des impacts et sources de pollution	40
5.2.4.2. Valeur agronomique	42
5.2.4.3. Métaux extractibles au DTPA.....	42
5.2.4.4. Tests écotoxicologiques : Bioindicateurs.....	43
5.2.4.5. QUALITÉ DES GAZ DU SOL.....	45

6.	MISE A JOUR DU SCHÉMA CONCEPTUEL ET EVALUATION QUALITATIVE DES RISQUES POUR LE PROJET D'AMENAGEMENT	46
6.1.	GENERALITES SUR L'EVALUATION DES RISQUES DANS LE CADRE D'UN PLAN DE GESTION ..	46
6.2.	SCHEMA CONCEPTUEL	46
6.2.1.	PRINCIPES DU SCHÉMA CONCEPTUEL	46
6.2.2.	PRÉSENTATION DU SCHÉMA CONCEPTUEL	46
6.2.3.	CONCLUSIONS SUR LE SCHÉMA CONCEPTUEL ET SUITES À DONNER.....	47
7.	ANALYSE DES RISQUES RESIDUELS PREDICTIVE	47
7.1.	METHODOLOGIE DE L'ARR PREDICTIVE	47
7.2.	ANALYSES DES RISQUES RESIDUELS PREDICTIVE	48
8.	PRESENTATION DE LA DEMARCHE ENVIRONNEMENTALE ET OBJECTIFS DU PLAN DE GESTION	51
8.1.	LA DEMARCHE ENVIRONNEMENTALE APPLIQUEE AUX SITES ET SOLS POLLUES	51
8.2.	LES MESURES DE GESTION	51
8.3.	OPTIONS DE REHABILITATION	52
9.	IDENTIFICATION DES DIFFERENTES OPTIONS DE GESTION POSSIBLES ET BILAN COUTS / AVANTAGES (A330).....	53
9.1.	RAPPEL DES OBJECTIFS NATIONAUX DE GESTION ENVIRONNEMENTALE	53
9.2.	DELIMITATION DES SOURCES DE POLLUTION CONCENTREES	54
9.2.1.	MÉTHODE BASÉE SUR L'ANALYSE STATISTIQUE DES DONNÉES.....	55
9.2.2.	MÉTHODE BASÉE SUR L'INTERPRÉTATION CARTOGRAPHIQUE	57
9.3.	OBJECTIFS DE DEPOLLUTION	59
9.4.	PRESENTATION DES SOLUTIONS DE GESTION ENVISAGEABLES.....	59
9.4.1.	SOLUTIONS DE DÉPOLLUTION ÉCARTÉES	61
9.4.2.	SOLUTIONS DE DÉPOLLUTION ENVISAGEABLES	62
9.4.2.1.	Scénario 1 : Traitement par phytotechnologies	62
9.4.2.2.	Scénario 2 : Excavation et évacuation hors site.....	80
9.4.2.3.	Gestion des impacts diffus dans les remblais et impacts résiduels après purge des sources de pollution concentrée	81
9.4.3.	EVALUATION MULTICRITÈRES DES TECHNIQUES ENVISAGEABLES DE RÉHABILITATION	81
10.	ANALYSE DES IMPACTS ECOLOGIQUES DU PROJET (ECOLOR)	86
10.1.	ELEMENTS ET METHODE	86
10.2.	EMPRISE DU PROJET	87
10.3.	ESPACES PATRIMONIAUX	87
10.4.	HABITATS BIOLOGIQUES.....	87
10.4.1.	IMPACT DIRECT ET PERMANENT	87
10.4.2.	IMPACT DIRECT ET TEMPORAIRE	88
10.4.3.	IMPACT INDIRECT	88

10.5.	ZONES HUMIDES	88
10.5.1.	IMPACT DIRECT PERMANENT ET TEMPORAIRE	88
10.5.2.	IMPACT INDIRECT	88
10.6.	ESPECES VEGETALES	89
10.6.1.	IMPACT DIRECT PERMANENT ET TEMPORAIRE	89
10.6.2.	IMPACT INDIRECT	89
10.7.	AVIFAUNE NICHEUSE	89
10.7.1.	IMPACT DIRECT ET PERMANENT SUR LES INDIVIDUS D'ESPÈCES PROTÉGÉES	89
10.7.2.	IMPACT DIRECT ET TEMPORAIRE SUR LES INDIVIDUS D'ESPÈCES PROTÉGÉES.....	90
10.7.3.	IMPACT DIRECT ET PERMANENT SUR LES HABITATS D'ESPÈCES D'OISEAUX PROTÉGÉS	90
10.7.4.	IMPACT DIRECT TEMPORAIRE SUR LES HABITATS D'ESPÈCES PROTÉGÉES	91
10.7.5.	IMPACT INDIRECT	91
10.8.	AVIFAUNE HIVERNANTE ET MIGRATRICE.....	92
10.8.1.	IMPACT DIRECT PERMANENT ET TEMPORAIRE	92
10.8.2.	IMPACT INDIRECT	92
10.9.	ENTOMOFAUNE	92
10.9.1.	IMPACT DIRECT PERMANENT ET TEMPORAIRE SUR LES INDIVIDUS D'ESPÈCES PROTÉGÉES ET LEUR HABITAT	92
10.9.2.	IMPACT INDIRECT	92
10.10.	MAMMIFERES	92
10.11.	CHIROPTERES	93
10.11.1.	IMPACT DIRECT ET PERMANENT SUR LES INDIVIDUS D'ESPÈCES PROTÉGÉES ET LEUR HABITAT	93
10.11.2.	IMPACT DIRECT ET TEMPORAIRE SUR LES INDIVIDUS D'ESPÈCES PROTÉGÉES ET LEUR HABITAT	93
10.11.3.	IMPACT INDIRECT	93
10.12.	REPTILES	93
10.12.1.	IMPACT DIRECT ET PERMANENT SUR LES INDIVIDUS D'ESPÈCES PROTÉGÉES	93
10.12.2.	IMPACT DIRECT PERMANENT ET TEMPORAIRE SUR LES HABITATS D'ESPÈCES PROTÉGÉES.....	93
10.12.3.	IMPACT INDIRECT	94
10.13.	AMPHIBIENS	94
10.13.1.	IMPACT DIRECT PERMANENT ET TEMPORAIRE SUR LES INDIVIDUS D'ESPÈCES PROTÉGÉES	94
10.13.2.	IMPACT DIRECT PERMANENT ET TEMPORAIRE SUR LES HABITATS D'ESPÈCES PROTÉGÉES.....	94
10.13.3.	IMPACT INDIRECT	95
10.14.	TRAME VERTE ET BLEUE.....	95
10.14.1.	IMPACT DIRECT PERMANENT ET TEMPORAIRE	95
10.14.2.	IMPACT INDIRECT	95
10.15.	SYNTHESE DES IMPACTS	95
11.	MESURES D'EVITEMENT / REDUCTION	96
11.1.	EN FAVEUR DES HABITATS BIOLOGIQUES	96
11.2.	EN FAVEUR DE L'AVIFAUNE NICHEUSE	97

11.2.1.	MESURE DE REDUCTION DE L'IMPACT DIRECT PERMANENT ET TEMPORAIRE SUR LES INDIVIDUS D'ESPECES PROTEGEES.....	97
11.2.2.	MESURES D'EVITEMENT/REDUCTION DE L'IMPACT DIRECT PERMANENT ET TEMPORAIRE SUR LES HABITATS D'ESPECES PROTEGEES	97
11.2.2.1.	Mise en défend des habitats d'espèces protégées hors zone de projet.....	97
11.3.	EN FAVEUR DES CHIROPTERES	97
11.3.1.	MESURE DE REDUCTION DE L'IMPACT DIRECT PERMANENT ET TEMPORAIRE SUR LES INDIVIDUS D'ESPECES PROTEGEES.....	97
11.3.1.1.	Eclairage	97
11.4.	EN FAVEUR DES AMPHIBIENS.....	98
11.4.1.	MESURES D'EVITEMENT/REDUCTION DES IMPACTS DIRECTS PERMANENTS SUR LES INDIVIDUS D'ESPECES PROTEGEES.....	98
11.4.1.1.	Isolement de l'aire de travaux	98
11.4.1.2.	Mesure temporelle	99
11.4.1.3.	Capture et déplacement d'espèces protégées	99
11.4.2.	MESURE D'EVITEMENT / REDUCTION DE L'IMPACT DIRECT PERMANENT ET TEMPORAIRE SUR L'HABITAT D'ESPECES PROTEGEES	100
11.5.	EN FAVEUR DES REPTILES	100
11.5.1.	MESURES DE REDUCTION DES IMPACTS SUR LES INDIVIDUS D'ESPECES PROTEGEES.....	100
11.5.1.1.	Mesure temporelle	100
11.5.1.2.	Capture et déplacement d'espèces protégées	100
11.5.2.	MESURE DE REDUCTION DES IMPACTS SUR LES HABITATS D'ESPECES PROTEGEES.....	101
12.	IMPACTS RESIDUELS.....	102
13.	MESURES COMPENSATOIRES	102
13.1.	EN FAVEUR DE L'AVIFAUNE NICHEUSE	102
13.1.1.	MC1 : PLANTATIONS INTÉGRÉES AU PROJET.....	102
13.1.2.	MC2 : CONSERVATION D'UNE ZONE DE QUIÉTUDE EN FAVEUR DES ESPÈCES PATRIMONIALES	103
13.2.	EN FAVEUR DES AMPHIBIENS.....	104
13.2.1.	MC3 : MARES COMPENSATOIRES EN FAVEUR DU CRAPAUD COMMUN ET DU TRITON ALPESTRE	104
13.2.2.	MC4 : MARES COMPENSATOIRES EN FAVEUR DU CRAPAUD CALAMITE	104
13.3.	EN FAVEUR DES REPTILES	105
13.3.1.	MC5 : CRÉATIONS DES GÎTES À REPTILES	105
13.4.	FONCTIONNALITE DES MESURES COMPENSATOIRES	106
14.	MESURES DE GESTION.....	107
14.1.	GESTION DES ESPECES VEGETALES INVASIVES	107
14.1.1.	RENOUÉE DU JAPON	108
14.1.2.	BUDDLEJA	109
14.1.3.	ROBINIER FAUX-ACACIA	109
14.2.	PLANTATION ET GESTION DES ESPACES ARBOREES.....	109
14.3.	GESTION DES PRAIRIES	110

14.3.1.	PRAIRIE PÂTURÉE	110
14.3.2.	PRAIRIE DE FAUCHE	110
14.3.2.1.	Semis des surfaces en prairie de fauche.....	110
14.3.2.2.	Gestion des surfaces en prairie de fauche.....	111
14.4.	GESTION DES ANDAINS.....	111
14.5.	GESTION DES MARES	111
14.5.1.	MARES PERMANENTES INTÉGRÉES AU PROJET (ZONES HUMIDES)	111
14.5.2.	MARES TEMPORAIRES EN FAVEUR DU CRAPAUD CALAMITE	112
14.6.	ACCUEIL DES USAGERS	112
15.	MESURES DE SUIVI.....	113
15.1.	SUIVI DE CHANTIER	113
15.2.	SUIVI ECOLOGIQUE.....	114
15.3.	SYNTHÈSE DES MESURES ENVIRONNEMENTALES	114
16.	RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES EN MATIÈRE D'HYGIÈNE ET SÉCURITÉ	117
17.	MÉMOIRE DE LA POLLUTION ET SERVITUDES.....	117
18.	CONDITIONS DE VALIDITÉ ET ÉVALUATION DES INCERTITUDES	118
18.1.	CONDITIONS DE VALIDITÉ DES RÉSULTATS	118
18.2.	ÉVALUATION DES INCERTITUDES	118
19.	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	119

TABLEAUX

Tableau 1 - Ancienne activité ICPE.....	16
Tableau 2 - Synthèse des études précédentes	17
Tableau 3 – Synthèse des sources potentielles de pollution	17
Tableau 4 - Méthode de hiérarchisation des enjeux liés aux habitats biologiques	20
Tableau 5 - Méthode de hiérarchisation des enjeux espèces patrimoniales.....	20
Tableau 6 - Synthèse des enjeux	21
Tableau 7 - Synthèse des enjeux liés aux habitats biologiques	22
Tableau 8 - Synthèse des enjeux liés aux espèces.....	25
Tableau 9 : Schéma conceptuel initial	31
Tableau 10 – Programme d'investigations.....	32
Tableau 11 – Synthèse des résultats d'analyses de sol (1/2)	34
Tableau 12 : Synthèse des résultats d'analyses de sol (2/2).....	35
Tableau 13 - Synthèse des résultats d'analyses métaux extractibles au DTPA dans les sols (1/1)	36
Tableau 14 - Synthèse des résultats agronomiques dans les sols	38
Tableau 15 - Synthèse des résultats granulométriques dans les sols.....	38
Tableau 16 – Caractérisation des matières organiques	38
Tableau 17 : Synthèse des résultats d'analyses des gaz du sol – Campagne mars et août 2022	39
Tableau 18 – schéma conceptuel pour un usage de « démonstrateur » accueillant du public	47
Tableau 19 – Qualité de l'air intérieur estimée à partir des gaz du sol (source : Guide méthodologique de gestion des SSP)	49
Tableau 20 : Comparaison des teneurs dans les gaz du sol avec les valeurs guides R1 à R3.....	50
Tableau 21 – Calculs statistiques de base sur une distribution de concentrations en HAP dans les sols (mg/kg)	55
Tableau 22 : Estimations des volumes de sols à traiter	57
Tableau 23 : Classification des techniques de réhabilitation par famille et par type	60
Tableau 24 : Classification des techniques de réhabilitation envisageables par famille et par type.....	61

Tableau 25 : Analyse multicritères des scénarios de gestion des sols.....	82
Tableau 26 : Détail du chiffrage du scénario 1	84
Tableau 27 : Détail de l'estimation des coûts d'entretien et suivi après travaux de dépollution et d'aménagements sur 10 années.....	85
Tableau 28 : Liste des habitats d'oiseaux protégés impactés par le projet	90
Tableau 29 : Synthèse des impacts	95
Tableau 30 : Surface des plantations arborées prévues dans le cadre du projet	102
Tableau 31 : Synthèse et fonctionnalité des mesures compensatoires	106
Tableau 32 : Liste d'espèces à semer après pour la constitution d'une prairie mésophile diversifiée	110
Tableau 33 : Liste des mesures à prévoir / Période de mise en œuvre des mesures avant début des terrassements.....	113
Tableau 34 : Synthèse des mesures environnementales.....	115

FIGURES

Figure 1 - Localisation du site d'étude (source Géoportail)	14
Figure 2 - Synthèse des investigations précédentes et localisation des zones sources.....	18
Figure 3 : Proposition d'aménagement du site KLEBER (source : Phytorestore)	19
Figure 4 - Enjeux liés aux habitats biologiques présents sur le site Kléber	23
Figure 5 - Enjeux liés aux espèces sur le site Kléber	26
Figure 6 - Synthèse des enjeux sur le site Kléber	28
Figure 7 - Enjeux réglementaires sur le site Kléber	30
Figure 8 - Localisation des investigations réalisées par ARTELIA en mars 2022	33
Figure 9 - Synthèse des investigations réalisées par ARTELIA en mars 2022	41
Figure 10 - Localisation des prélèvements réalisés dans le cadre du PCT.....	54
Figure 11 - Fréquences cumulées des concentrations en HAP (mg/kg) – intervalle 20 mg/kg	56
Figure 12 - Répartition des concentrations en HAP (mg/kg).....	56
Figure 13 - Plan de localisation des zones de pollution concentrée en HAP	58
Figure 14 - Schéma des différents types de réhabilitation.....	60
Figure 15 - Plan général des aménagements du plan de gestion	64
Figure 16 - Carte aménagements Andains Plantés, Noues Plantées et Filtres Plantés.....	65
Figure 17 - Identification des volumes à excaver et des volumes approximatifs des andains	66
Figure 18 - Etat agronomique général des sols.....	67
Figure 19 : Coupe face Andains plantés + Noues Plantées	68
Figure 20 : Exemple de Noues Plantées d'acheminement (quartier Camille Claudel, Palaiseau).....	68
Figure 21 : Schéma de principe des plantations sur les andains	69
Figure 22 : Exemple de Jardins Filtrants pour traitement d'eau polluées	70
Figure 23 : Coupe de principe du filtre planté de piégeage	71
Figure 24 : Exemple panneau pédagogique en bord d'aménagement de phytoépuration (Saintry-sur-Seine)	72
Figure 25 : Carte aménagements Zones humides.....	74
Figure 26 : Exemple zone humide plantée (parc des docks de Saint Ouen)	75
Figure 27 : Exemple de platelage bois au-dessus d'une zone humide plantée (Parc du Chemin de l'Île Nanterre)	76
Figure 28 : Carte aménagements de couverture végétale	76
Figure 29 : Exemple prairie sèche (Franche-Comté)	77
Figure 30 : Carte aménagements agriculture expérimentale et biomasse	79
Figure 31 : Habitats semi-ouverts prévus dans le cadre du projet (source : Phytorestore)	91
Figure 32 - Barrière anti-crapaud de type filet (Ecolor, 2023).....	98
Figure 33 - Zone de déplacement des individus d'amphibiens protégés.....	99
Figure 34 - Localisation des zones de relâchés possibles des reptiles	101
Figure 35 - Micros-habitats à déplacer et à replacer sur site après travaux, ECOLOR 2022	101
Figure 36 - Rappel des plantations prévues sur le site.....	103
Figure 37 - Localisation de la zone de quiétude en faveur de l'avifaune patrimoniale (source : Phytorestore)	104
Figure 38 - Profil en travers d'un gîte artificiel pour les reptiles	106
Figure 39 - Localisation des micros-habitats compensatoires en faveur du Lézard des murailles.....	106
Figure 40 - Pousses de Renouée du Japon dans la partie Est du site, ECOLOR 2022.....	109
Figure 41 - Exemple de mare peu profonde avec enrochements favorables au Crapaud calamite.....	112

LISTE DES ABREVIATIONS

ADES Portail national d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines

AEP Alimentation en Eau Potable

APB Arrêté de Protection de Biotope

ARR Analyse des Risques Résiduels

ARS Agence Régionale de Santé

ASPITET Apports d'une Stratification Pédologique pour l'Interprétation des Teneurs en Eléments Traces

BRGM Bureau de Recherches Géologique et Minières

BSS Banque de données du Sous-Sol

BTEX Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylènes

DREAL Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

CAV Composés Aromatiques Volatils

COHV Composés Organiques Halogénés Volatils

COT Carbone Organique total

DICT Déclaration d'Intention de Commencement de Travaux

DLI Dépôt de Liquides Inflammables

ETBE Ethyl tert-butyl éther

Go Gazole

HAP Hydrocarbures aromatiques Polycycliques

HCT Hydrocarbures Totaux

ICPE Installations Classées pour la Protection de l'Environnement

IGN Institut Géographique National

ISDI Installation de Stockage des Déchets Inertes

ISDD Installation de Stockage des Déchets Dangereux

ISDND Installation de Stockage des Déchets Non dangereux

LQ Limites de Quantification

Métaux Arsenic (As), Cadmium (Cd), Chrome (Cr), Cuivre (Cu), Mercure (Hg), Nickel (Ni), Plomb (Pb), Zinc (Zn)

MS Matière sèche

MTBE Méthyl tert-butyl éther

PCB Polychlorobiphényles

PCE Tétrachloroéthylène

PID Photolonization detector

PL Poids Lourds

RAMSAR Zone humide d'importance internationale

RDC Rez-de-Chaussée

SP Sans Plomb

SIC Site d'Importance Communautaire

SIS Secteur d'Information sur les Sols

TCE Trichloroéthylène

TGAP Taxes Générales sur les Activités Polluantes

VL Véhicules Légers

ZICO Zone Importante pour la Conservation des Oiseaux

ZNIEFF Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique

ZPS Zone de Protection Spéciale

ZSC Zone Spéciale de Conservation

RÉSUMÉ NON TECHNIQUE

Animée par une volonté de mener un renouvellement urbain durable pour limiter « l'artificialisation nette » du territoire, la Métropole du Grand Nancy, en collaboration étroite avec les communes concernées, a décidé de soutenir les projets de requalification de friches urbaines dans le cadre de projets urbains d'envergure.

En 2019, la Métropole a défini au travers de son plan d'action 2019-2021 pour la Biodiversité, des orientations sur des sites « démonstrateurs » avec mise en œuvre de démarches innovantes en matière de reconquête de la biodiversité, parmi lesquels le site de l'ancienne caserne Kleber localisé à l'Est du centre-ville de Nancy, sur le ban communal d'Essey-lès-Nancy.

La Métropole du Grand Nancy a mandaté le groupement ARTELIA / PHYTORESTORE / ECOLOR pour la réalisation d'une étude environnementale sur l'emprise de la future « Coulée Verte » au droit de l'ancienne friche Kleber. L'étude doit garantir la bonne intégration paysagère et fonctionnelle de ces aménagements et présente donc un double objectif :

- Assurer l'amélioration du potentiel écologique du site (restauration d'habitats d'espèces protégées potentiellement présentes sur le site, plantation d'espèces végétales favorisant l'installation de nouvelles espèces, intégration des systèmes de management de la pollution à son environnement) ;
- Assurer la compatibilité sanitaire du site réaménagé avec les usages projetés au moyen d'une gestion exemplaire des pollutions présentes par phytomanagement.

Les diagnostics écologiques et environnementaux réalisés lors de l'étape 1 ont permis de mettre en évidence :

1. Synthèse des inventaires écologiques

Aucun **enjeu majeur** n'est à signaler au droit de la zone d'étude. Plusieurs **enjeux élevés** sont recensés et correspondent aux friches herbacées, éléments arbustifs, arbres à cavités et habitats aquatiques. Aucun **enjeu moyen** n'est à signaler. Les **enjeux faibles** correspondent aux friches à Saule Marsault, à la friche Buddleja, à la friche herbacée eutrophe et aux éléments arborés non favorables aux espèces patrimoniales, mais pouvant abriter d'autres espèces de faune. Les **enjeux très faibles** correspondent aux voiries défavorables à la faune et à la flore.

2. Synthèse des diagnostics « pollution » et « agronomie »

Observations terrain :

ARTELIA a réalisé des investigations sur les sols et les gaz du sol :

- 19 sondages ont donc été réalisés du 10 au 11 mars 2022 et 23 échantillons de sols ont été prélevés ;
- Pose de 3 piézajets suivi de 2 campagnes de prélèvements (en mars et en août 2022).

Les investigations ont permis de caractériser la nature des terrains sur le site :

- 0 – 1 m : remblais limoneux sablo-graveleux ou terre végétale ;
- 1 – 2 m : marnes beiges à vertes et présence de passage limoneux localement ;
- Présence de blocs ou d'une dalle béton observée au droit des sondages S2, S3, S4 vers 1m de profondeur.

Résultats du diagnostic agronomique :

Le sol présente une faible valeur en matière organique totale. Il apparaît nécessaire de la relever afin d'améliorer les propriétés physiques, chimiques, et biologiques du sol. Un apport de compost agronomique devra être mis en œuvre pour améliorer la qualité agronomique des sols.

Résultats du diagnostic pollution :

- Présence de **HAP** au droit du sondage S17 entre 1 et 2 m de profondeur avec une concentration de 120 mg/kg : cet impact est dans la même gamme de teneur que les prélèvements P100 et P15 (concentrations en HAP entre 102 et 138 mg/kg) localisés à quelques dizaines de mètres (diagnostic ARTELIA 2016). Les échantillons Pza-1 et S7 (remblais) permettent de délimiter la **zone de pollutions concentrées** au sud et à l'ouest ;

- **Des concentrations anormales en hydrocarbures C10-C40 et As, Cr, Pb et Ni sur brut réparties de manière aléatoire principalement dans les remblais entre 0 et 2m, reflétant la qualité intrinsèque des remblais (probablement en lien avec les différentes phases de construction / démolition de la caserne).**
- Détection de composés organiques volatils (BTEX et hydrocarbures aliphatiques) dans les gaz du sol au droit des 3 piézais prélevés.

Le présent rapport correspond à l'Etape 2 dont l'objectif est d'élaborer un projet opérationnel de gestion par phytomanagement via la réalisation d'un Plan de Gestion global, intégrant les enjeux de biodiversité au même niveau que les enjeux de maîtrise des pollutions.

Sur la base des investigations réalisées, les résultats de l'étude ont permis de conclure à :

- Des risques sanitaires acceptables pour l'inhalation de substances gazeuses au droit du site KLEBER pour le projet de reconversion retenu : création d'un parc/espace paysager ouvert au public ;
- La réalisation d'un bilan coût/avantage pour le traitement des sources de pollution concentrée en HAP. Le bilan coût/avantage réalisé par ARTELIA, lequel constitue un outil d'aide à la décision du maître d'ouvrage quant à la solution à retenir, traduit un bilan favorable à la solution de traitement par excavation / mise en andin / phytotechnologies des sources sols concentrées en HAP, principalement en lien avec les critères environnementaux et d'intégration paysagère de cette méthode : traitement permettant une dégradation des hydrocarbures (HAP) grâce aux racines et des micro-organismes associés de la plante, en disposant les sols en andain avec une gestion des eaux de ruissellement par filtres plantés / aménagements paysagers intégrés ;
- Des coûts de traitement des sources sols de l'ordre de 1,75 M€ HT, auxquels s'ajoutent les coûts liés aux aménagements annexes du site (panneaux pédagogiques ; plantations haies, arbres et arbustes : platelage ; gîtes à reptiles ; traitement Renouée du Japon et Robinier faux-acacia et Buddleja) portant l'enveloppe globale du réaménagement du site à environ 2 M€ HT ;
- La gestion des pollutions diffuses et résiduelles par phytostabilisation / couverture végétale, et mise en place de restrictions d'accès des usagers et d'aménagements permettant la maîtrise des accès des futurs usagers :
 - En cas d'aménagement différents de ceux définis dans le présent plan de gestion, une mise à jour du schéma conceptuel du site et de l'évaluation des risques sanitaires devra être réalisée afin de valider la faisabilité du projet envisagé (un plan de localisation des différents types d'aménagements validés par le plan de gestion sera à annexer au dossier de servitude) ;
 - L'ensemble des sols du site devra présenter un couvert végétal afin de limiter l'envol de poussières, et les zones fréquentées par le public recouverte pour éviter tout contact direct avec les sols ;
 - L'accès au site par le public sera limité aux espaces publics ;
 - La plantation d'arbres fruitiers est à proscrire.

Les résultats du Plan de Conception Travaux réalisé dans le cadre de l'Etape 3 de l'étude et visant à fiabiliser le scénario de gestion identifié et aider au dimensionnement des travaux de réhabilitation en limitant les incertitudes par la réalisation d'essais de faisabilité et de traitabilité en laboratoire sont présentés dans le rapport de Plan de Conception des Travaux.

CONTEXTE - PROBLÉMATIQUE

Animée par une volonté de mener un renouvellement urbain durable pour limiter « l'artificialisation nette » du territoire, la Métropole du Grand Nancy, en collaboration étroite avec les communes concernées, a décidé de soutenir les projets de requalification de friches urbaines dans le cadre de projets urbains d'envergure.

En 2019, la Métropole a défini au travers de son plan d'action 2019-2021 pour la Biodiversité, des orientations sur des sites « démonstrateurs » avec mise en œuvre de démarches innovantes en matière de reconquête de la biodiversité, parmi lesquels le site de l'ancienne caserne Kleber localisé à l'Est du centre-ville de Nancy, sur le ban communal d'Essey-lès-Nancy.

La Métropole du Grand Nancy a mandaté le groupement ARTELIA / PHYTORESTORE / ECOLOR pour la réalisation d'une étude environnementale sur l'emprise de la future « Coulée Verte » au droit de l'ancienne friche Kleber. L'étude doit garantir la bonne intégration paysagère et fonctionnelle de ces aménagements et présente donc un double objectif :

- Assurer l'amélioration du potentiel écologique du site (restauration d'habitats d'espèces protégées potentiellement présentes sur le site, plantation d'espèces végétales favorisant l'installation de nouvelles espèces, intégration des systèmes de management de la pollution à son environnement) ;
- Assurer la compatibilité sanitaire du site réaménagé avec les usages projetés au moyen d'une gestion exemplaire des pollutions présentes par phytomanagement.

L'étude globale est décomposée en 4 étapes :

- Etape 1 :
 - Un diagnostic écologique qui visera à atteindre les objectifs suivants :
 - Améliorer le potentiel écologique du site pour le rendre favorable à un redéveloppement de la biodiversité, au-delà d'un évitement maximum des impacts sur les milieux naturels et habitats d'espèces protégées présents potentiellement sur le site, conformément à la réglementation en vigueur ;
 - Intégrer les enjeux de préservation et de restauration de la biodiversité (habitat/fonctions - espèces) comme une composante à part entière de la conception du projet ; tant dans l'élaboration du plan de gestion des pollutions que pour la conception du scénario d'aménagement durable du site ;
 - Des investigations complémentaires « pollution » et « agronomiques » afin de préciser les caractéristiques des pollutions et leur biodisponibilité, et de définir les niveaux de fertilité des supports de végétation ;
- **Etape 2 : Elaboration du projet opérationnel de gestion par phytomanagement via la réalisation d'un Plan de Gestion global, qui intégrera les enjeux de biodiversité au même niveau que les enjeux de maîtrise des pollutions. La maîtrise des enjeux sanitaires sera validée par une étude des risques sanitaires.**

En fonction des conclusions de l'étape 2, l'étude se poursuivra par :

- Etape 3 : Elaboration du Plan de Conception Travaux qui permettra de valider et de fiabiliser le scénario de gestion retenu, via la réalisation d'essais en laboratoire et sur le terrain ;
- Etape 4 : Accompagner la Métropole du Grand Nancy dans sa candidature aux appels à projets « travaux » national ou régional, dans une volonté à long terme de recyclage et de requalification du foncier métropolitain dégradé.

La présente étude s'inscrit dans l'**étape 2**, avec pour objectifs de :

- étudier via un bilan coûts-avantages (BCA) les solutions de gestion des sources de pollution concentrées (par phytotechnologies notamment), permettant une maîtrise des sources de pollution concentrées et des pollutions résiduelles ;
- définir la stratégie de gestion du site ou du milieu naturel, dans le respect des objectifs fixés et au regard des potentialités du patrimoine en place, en précisant le plan opérationnel de gestion et de suivi, dont :
 - La définition qualitative et quantitative de l'ensemble des actions de gestion et des travaux d'entretien, (la programmation au regard des priorités fixées par le commanditaire (mise en sécurité, station prioritaire...)) / le calendrier d'intervention / les coûts prévisionnels correspondants,
 - L'élaboration de recommandations concernant toutes les dispositions en faveur du public, les dispositions en faveur du paysage et les actions de communication à mettre en œuvre.

La méthodologie et les conditions d'intervention utilisées d'ARTELIA sont conformes à la norme AFNOR NF X31-620 spécifique aux « Prestations de services relatives aux sites et sols pollués ». D'après cette norme, la présente prestation d'études correspond aux codifications suivantes :

- Plan de gestion dans le cadre d'un projet de réhabilitation ou d'aménagement (PG)
- Analyse des enjeux sanitaires (A320)
- Identification des différentes options de gestion possibles et réalisation d'un bilan coûts/avantages (A330)

Par ailleurs, ARTELIA a réalisé cette étude selon les orientations préconisées par la note ministérielle du 19 avril 2017 accompagnée de deux documents : une introduction à la méthodologie destinée à tous publics et la méthodologie de gestion elle-même.

2. SOURCES DE DONNÉES CONSULTÉES

Les sources d'informations consultées pour la réalisation de l'étude sont détaillées ci-dessous.

MODE DE CONSULTATION	SOURCE	INFORMATIONS COMPLEMENTAIRES
	Géoportail	https://www.geoportail.gouv.fr/
	Cadastre	https://cadastre.gouv.fr
	Météo France	Rose des vents de la Station Essey-les-Nancy
	Infoclimat	https://www.infoclimat.fr/
	Géorisques : Anciens sites industriels	https://www.georisques.gouv.fr/risques/casias/donnees
	Géorisques : Sites présentant une pollution avérée ou suspectée	https://www.georisques.gouv.fr/risques/sites-et-sols-pollues/donnees#/type=instructions
	SIS	http://www.georisques.gouv.fr/dossiers/sis-secteur-dinformation-sur-les-sols/donnees#/
	Photographies aériennes historiques	www.remonterletemps.ign.fr
	Diagnostic environnemental – SITA REMEDIATION	Rapport S2 12 031 1 – V0 – Avril 2013
	Diagnostic de pollution des sols, évaluation quantitative des risques sanitaires et Pré-Plan de Gestion - ARTELIA	KLEBER_Etude_environnementale_ARTELIA_mars 2016
	Etude de vulnérabilité – Ancienne caserne KLEBER – ARTELIA	8515236_Etude_vulné_KLEBER_R1V1 du 29/03/2022
	Diagnostic complémentaire ARTELIA / ECOLOR (étape 1 de l'étude)	Réf 8515236_KLEBER_DIAG_R2V1 de février 2022
	Guide méthodologique pour la sélection des techniques et l'évaluation de leurs performances – Cahiers des charges	ADEME, 2009 : Traitabilité des sols pollués
	Guide La microbiologie moléculaire au service du diagnostic environnemental.	ADEME, 2017 Collection Expertises. Ref. 8888. 174p.
	Les bio-indicateurs de l'état des sols – Principe et exemples d'utilisation - ADEME	ADEME – Mai 2017
	Bioremediation techniques –classification based on site of application : principes, avantages, limitations and prospects.	AZUBUIKE, C. C., CHIKERE, C. B., OKPOKVASILI, G. C., 2016 World J Microbiol Biotechnol. 32 (11) : 180
	Biopile design and construction manual. Technical Memorandum.	BATELLE ENVIRONMENTAL RESTORATION DEPARTMENT. 1996. TM-2189-ENV. 132p.
	Quelles techniques pour quels traitements – Analyse coûts-bénéfices. Rapport final BRGM-RP-58609-FR. 403p.	COLOMBANO, S., SAADA, A., GUERIN, V., BATAILLARD, P., BELLENFANT, G., BERANGER, S., HUBE, D., BLANC, C., ZORNIG, C., GIRARDEAU, I., 2010.
	Manual for biological remediation techniques.	ICSS, 2006. Federal Env. Agency, Dessau, Germany. 81 p.
	Characterization, Design, Construction, and Monitoring of Bioreactor Landfills.	ITRC (Interstate Technology & Regulatory Council). 2006. Washington, D.C.: Interstate Technology & Regulatory Council, Alternative Landfill Technologies Team. 112p.
	Abstracts of Remediation Case Studies. Volume 6 Prepared by Member Agencies of the Federal Remediation Technologies Roundtable.	USEPA, 2002. EPA-542-R-02-006. 139p. Normes
	Les Phytotechnologies appliquées aux sites et sols pollués, état de l'art et guide de mise en œuvre	ADEME, INERIS, 2013.
	Phytotechnologies appliquées aux sites et sols pollués.	ADEME, 2017.
	Lignes directrices relatives aux essais en laboratoire pour la biodégradation de produits chimiques organiques dans le sol sous conditions aérobies.	ISO 11266, 1997.

3. SYNTHÈSE DU CONTEXTE DU SITE

3.1. SITUATION GÉOGRAPHIQUE DU SITE

Le site est implanté en zone péri-urbaine localisé à l'Est du centre-ville de Nancy (54). La parcelle cadastrale concernée est la parcelle 0040 sur la section AX. L'accès au site se fait par la rue du 8 mai 1945 à Essey-Lès-Nancy.

D'après les données de la carte IGN au 1/25 000^{ème}, le site possède une altimétrie moyenne de 210 m NGF.

Aucun bâtiment n'est actuellement présent au droit de la zone d'étude, qui représente une surface totale d'environ 6,6 hectares. Le site est actuellement une friche enherbée. Le site est entièrement clos (murs) et fermé par un portail métallique. Les chemins d'accès sont recouverts de bitume ou de dallages.



Figure 1 - Localisation du site d'étude (source Géoportail)

3.2. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL DU SITE

La synthèse du contexte environnemental du site (source : Rapport d'étude Réf. 8515236_Etude_vulné_KLEBER_R1V1, 29/03/2022 par ARTELIA) est présentée dans le tableau ci-après.

Occupation des sols autour du site	• Au Nord : des habitations individuelles avec jardins (1 sur la Figure 1) ; • A l'Ouest : une ancienne zone aéronautique puis des habitations avec jardins (2 sur la Figure 1) ; • Au Sud : l'aérodrome civil d'Essey-Lès- Nancy (3 sur la Figure 1); • A l'Est : des terrains agricoles, un centre commercial puis des habitations individuelles avec jardins (4 sur la Figure 1)
---	---

Contexte géologique	D'après la carte géologique n°230 au 1/50 000ème de Nancy (BRGM), le substratum géologique naturel du site est constitué par la formation des Marnes à Amalthées du Jurassique (Lias Pliensbachien Domérien) notées I6a d'une puissance pouvant atteindre environ 85 à 90 mètres. L'ouvrage BSS000SFKP/F2 (source : Banque de données du Sous-Sol) localisé en partie Est du site est exploité pour un usage de géothermie, sa coupe géologique permet de caractériser la présence d'une alternance de couches peu perméables, avec notamment la présence d'une couche d'argile en surface d'environ 25 m d'épaisseur, puis une succession de couches alternant argiles, marnes et calcaires jusqu'à atteindre la couche de Grès du Buntsandstein entre 500 et 600 m de profondeur.
Contexte hydrogéologique	Le substratum du site d'étude décrit ci-avant est constitué par les Marnes à Amalthées du Jurassique : des formations géologiques pas/peu perméables. La nappe des Grès du Buntsandstein est localement utilisée pour l'alimentation en eau potable, le thermalisme et la géothermie Celle-ci est rencontrée à environ 600 m de profondeur et dont l'écoulement supposé est orienté vers le Nord. Les données disponibles ont permis de mettre en évidence la présence de plusieurs centaines de mètres en couverture peu perméable entre les Marnes superficielles et les Grès du Buntsandstein. Les diagnostics de terrain de décembre 2015 et janvier 2016 ont également permis de mettre en évidence la présence d'une nappe perchée dans les remblais du site alimentée par les infiltrations des précipitations. La ressource hydrogéologique locale est considérée comme : • Non vulnérable du fait de la profondeur de la nappe exploitée du Buntsandstein (supérieure à 600 mètres) et de l'épaisseur de la couche de marnes / argiles peu perméable la surplombant (plusieurs centaines de mètres) ; • Non sensible au vu de l'absence de captage répertorié dans un périmètre d'1km autour du site.
Contexte hydrographique	D'après la carte IGN au 1/25 000ème du secteur étudié, les cours d'eau présents à proximité du site sont les suivants : • Le ruisseau du Grémillon, affluent de la Meurthe à 500 m au Nord du site et s'écoulant de l'est vers l'ouest ; • Le ruisseau de Prarupt, autre affluent de la Meurthe s'écoulant vers l'ouest à environ 1,6 km au sud du site ; • La Meurthe respectivement, à environ 1,5 km à l'ouest du site, s'écoulant du sud-est vers le nord-ouest. Compte-tenu des distances avec le site d'étude, il convient de considérer les eaux superficielles comme un milieu peu vulnérable. Aussi, au regard de la relation entre le ruisseau du Grémillon et la Meurthe et des usages récréatifs tel que des activités de pêche sur cette dernière, les eaux superficielles sont jugées comme un milieu sensible.
Contexte industriel	Il existe peu de site BASIAS et BASOL à proximité de la zone d'étude et au vu de leur distance au site, ces sites ne sont pas considérés comme ayant pu impacter la qualité des milieux au droit du site.

3.3. RAPPEL DE L'HISTORIQUE

Les informations indiquées dans cette partie proviennent du diagnostic environnemental réalisé par ARTELIA en 2016.

Le site étudié est une ancienne caserne abritant le 5ème Groupe Logistique du Commissariat de l'Armée de Terre en activité de 1913 à 2007 et d'une superficie d'environ 25 ha, est situé en contexte semi-urbain.

Le site est actuellement à l'état de friche. La majorité des anciens bâtiments ont été démolis. Seuls 5 bâtiments ont été conservés afin d'être réhabilités dans le cadre du projet d'aménagement.

Les usages des bâtiments du site étaient répartis comme suit :

- Au nord, résidentiel et base vie ;
- Au sud, technique avec :
 - Stockage divers (munitions, soute à ingrédients...) ;
 - Magasins (mécanique, HCCA, alimentaire...) ;
 - Ateliers, garages et hangars.

De par ses anciennes activités, le site étudié est régi par la réglementation ICPE. Les anciennes activités et rubriques ICPE concernées sont présentées dans le tableau ci-après.

Tableau 1 - Ancienne activité ICPE

Ancienne activité – localisation	Rubrique ICPE
Ateliers 0046, 0047 et 0049	2930-1b AT véhicules routiers
Transformateur – atelier 0047	1180-1 Utilisation PCB
Soute munitions 006	1311-3 Dépôt de munitions
Chaudière 0033	2910-A-2 P = 4,6 MW
Station-service 0044	1432-2-b Dépôt liquides inflammables – CET = 11,2 m ³ 1434-1-b Distribution carburant DME = 8,6 m ³ /h

L'ensemble des 21 cuves, séparateurs hydrocarbures et débourbeur ont été évacués par l'USID de Nancy entre 2014 et 2015.

3.3.1. SYNTHÈSE DES INVESTIGATIONS PRÉCÉDENTES

Plusieurs campagnes d'investigations environnementales ont été réalisées au droit du site faisant objet de la présente étude, les résultats de ces dernières sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2 - Synthèse des études précédentes

	KLEBER "La Fruticée"
Etudes réalisées	- Diagnostic environnemental et établissement du schéma conceptuel pour le compte Ministère de la Défense (SITA Remédiation, 2013) - Étude environnementale Casernes Kléber pour le compte du Ministère de la Défense (ARTELIA, 2016) - Dossier démantèlement ancienne station de distribution (déc2018) - Plan de gestion et d'aménagement sommaire des 2 sites d'étude, EODD / Grand Nancy (2019)
Contexte géologique/hydrogéologique	- Présence de terrains imperméables (« marnes à Amalthées » (I6a)) - absence de nappe vulnérable - Présence du Gremillon à 100m du site --> vulnérable - Besoin de sécurisation pyrotechnique
Qualité des sols	- Présence de métaux sur une majorité de prélèvement. - Teneurs maximales au droit de S30 (290 en Ni , 63 mg/kg en Cr) et S39 (38 mg/kg As, 150 mg/kg en Cr, 200 mg/kg en Ni, 150 mg/kg en Zn). - Présence de teneurs significatives en HAP entre 0 et 0,5m au droit de P15, P89 et P93 et P100 (>100 mg/kg)
Qualité des eaux souterraines	Pas d'impact sur la nappe
Mesures de gestion initiales	- Vérification et mise en conformité de la qualité du sous-sol après travaux de dépollution des zones sources avec les aménagements projetés ; - Maîtrise des risques liés à l'ingestion et l'inhalation de poussières au droit des espaces extérieurs ; - Gestion des terres excavées
Plan de gestion sommaire	- Stabilisation des métaux dans les sols par les plantes via la phytostabilisation.. - Les points de pollution concentrée seront excavés et mis en andain en bordure du site. Les hydrocarbures contenus seront dégradés par les plantes via la rhizodégradation. Les zones excavées peu profondes permettront de créer de futurs habitats pour crapauds. - L'aménagement du site en mosaïque (milieux ouverts / semi-ouverts) permettra in-fine de créer un gradient de naturalité et de diversifier les habitats (prairie sèche, fruticée, bocage). - Le cortège végétal permettra également la production de bio-masse (à but pédagogique compte tenu de la surface limitée de la zone), soit à vocation alimentaire (fruitiers, maraichage) soit non alimentaire (bioénergie, pépinière, etc.). - Le site sera entretenu préférentiellement par pâturage (ovins).

3.3.2. SOURCES POTENTIELLES DE POLLUTION

Les sources potentielles de pollution retenues à l'issue des précédentes études réalisées et de la visite de site effectuée dans le cadre du présent diagnostic sont précisées dans le tableau ci-dessous et sont présentées sur la Figure 4.

Tableau 3 – Synthèse des sources potentielles de pollution

SOURCES	SUBSTANCES	CARACTERISTIQUES DES SUBSTANCES	RETENUE OU PAS
Qualité des remblais au droit du site	Métaux (As, Cd, Cr, Cu, Ni et Zn), HCT et HAP	Volatiles, solubles	Oui

Conformément à l'indication du paragraphe 4.1.2.3. du CCTP, nous avons proposé de réaliser des investigations sur un secteur d'environ 2 ha, représentatif de l'ensemble du site. Ce secteur (en pointillés bleus sur le plan ci-après) paraît pertinent à plusieurs égards :

- Il englobe les secteurs les plus sensibles d'un point de vue sanitaire (usages futurs « loisirs » dans ce secteur) ;
- Des zones d'impact regroupant les 2 typologies de polluants (éléments-traces métalliques et HAP) y sont présentes.

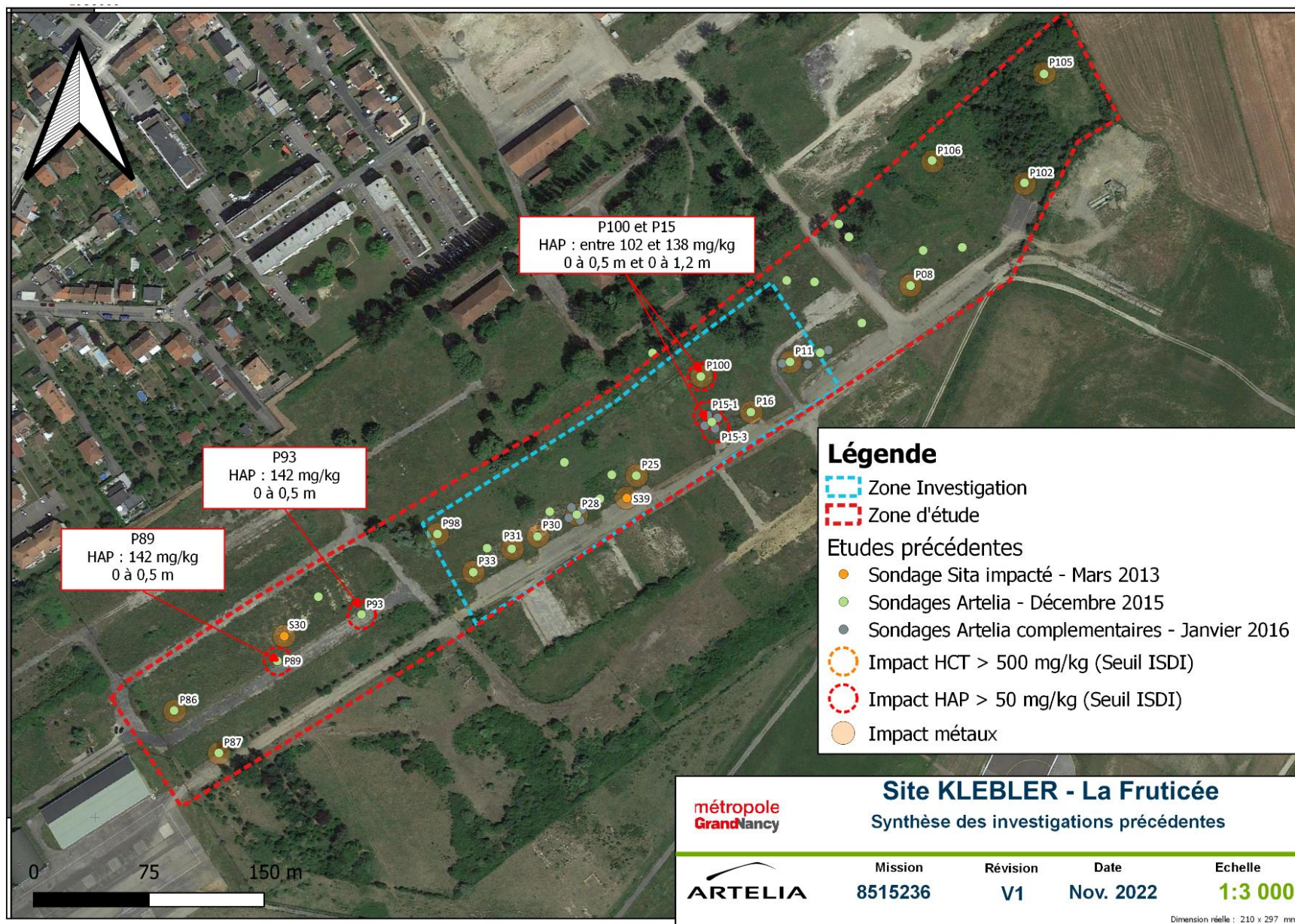


Figure 2 - Synthèse des investigations précédentes et localisation des zones sources

4. PROJET D'AMENAGEMENT

La Métropole du Grand Nancy projette la reconversion du site KLEBER en espace public aménagée pour un usage destiné à la promenade, aux loisirs et à la pédagogie des utilisateurs. Ce projet d'aménagement permettra ainsi d'intégrer l'utilisation du phytomanagement comme technologie verte pour la maîtrise des pollutions résiduelles non concentrées tout en préservant un aspect esthétique et paysager des aménagements. Les différents aménagements projetés sont listés ci-dessous :

- Cheminement platelage en bois dans le but de canaliser le passage et ainsi d'éviter les zones à risques (andain en traitement).
- Création d'un véritable habitat pour les crapauds calamites (mare), qui ont besoin d'une association plan d'eau / berges de prairie / buissons pour réaliser leur cycle de vie de l'œuf jusqu'à l'adulte dans de bonnes conditions.
- Aire de pique-nique, un terrain multisport et des espaces de détente pour le public.
- Une diversité des habitats avec des zones de prairies sèches, des vergers et des zones biomasses non accessibles au public.
- Des zones de refuges pour la faune (notamment pour la Pie grièche écorcheur)
- Un observatoire pour disposer d'une belle vue sur la zone humide.
- En bordure Nord, une route et une piste cyclable devraient être créées.
- Une future ligne de TRAM devrait être aménagée dans la zone Est du site en amont de la zone de refuge.

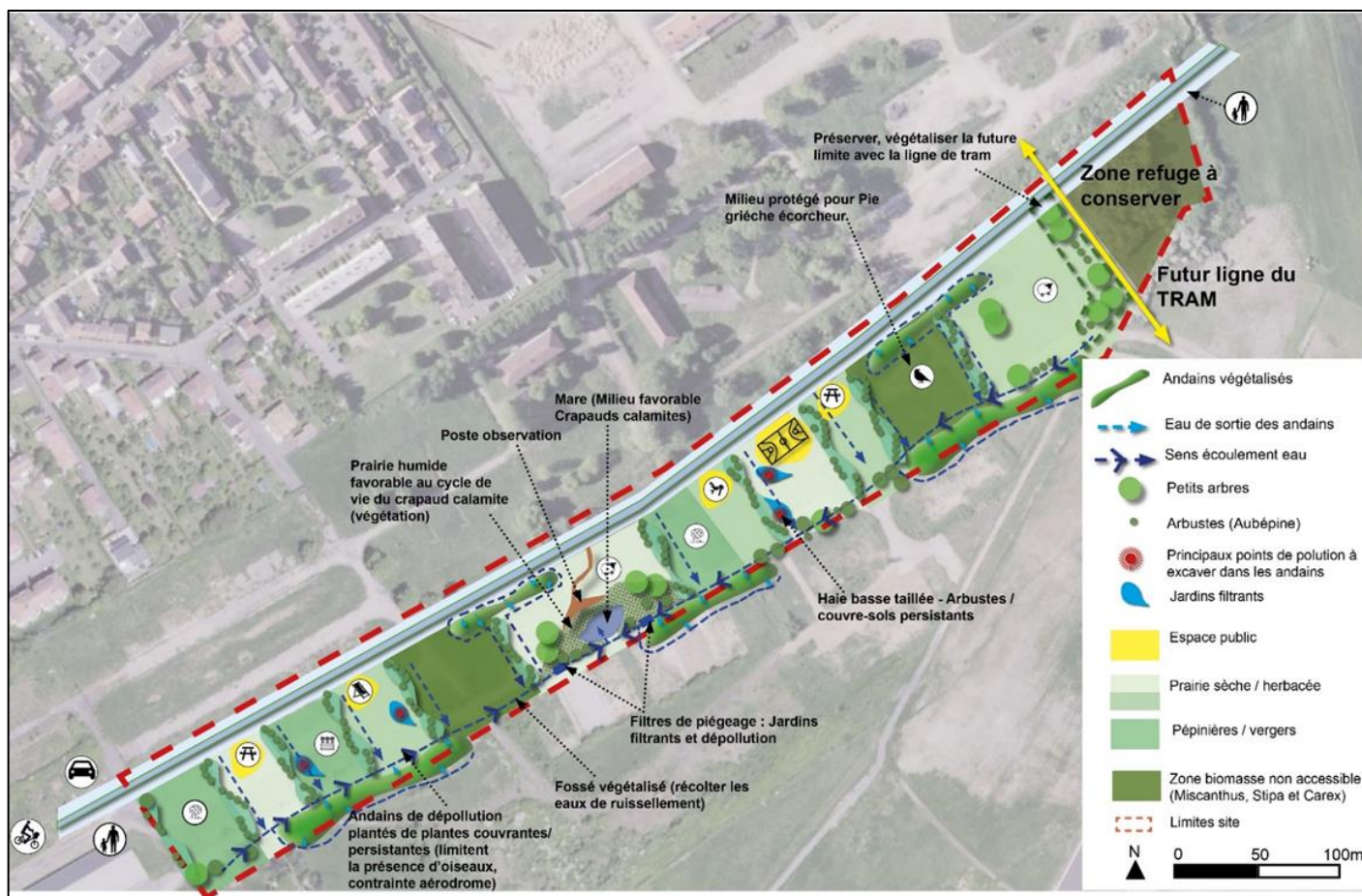


Figure 3 : Proposition d'aménagement du site KLEBER (source : Phytorestore)

A noter que le plan d'aménagement présenté ci-dessus est celui proposé par PHYOTRESTORE au stade de la candidature et pourra être amené à évoluer en fonction des conclusions des études de diagnostic et plan de gestion.

Aucun usage des eaux souterraines n'est envisagé.

5. SYNTHÈSE DES RESULTATS DES DIAGNOSTICS ENVIRONNEMENTAUX

Afin de compléter les données environnementales existantes, des diagnostics écologiques (ECOLOR) et de pollution (ARTELIA) ont été réalisés

Les investigations faune / flore ont été réalisées sur l'ensemble de la zone d'étude et ses abords proches, entre mars 2022 et janvier 2023. Les investigations relatives au diagnostic complémentaire de pollution ont quant à elles été effectuées en mars 2022 et août 2022.

Les résultats de ces investigations sont résumés ci-après.

5.1. ENJEUX ECOLOGIQUES

5.1.1. Méthodologie de hiérarchisation des enjeux patrimoniaux

5.1.1.1. HIERARCHISATION DES HABITATS BIOLOGIQUES

La hiérarchisation présentée s'appuie sur les textes de références traitant des habitats biologiques : la Directive « Habitats » et les listes des habitats biologiques déterminants « ZNIEFF » de Lorraine.

Tableau 4 - Méthode de hiérarchisation des enjeux liés aux habitats biologiques

Majeur	Habitats : - inscrits à la Directive Habitat de niveau prioritaire en bon état de conservation ; - déterminants ZNIEFF 1.
Elevé	Habitats : - inscrits à la Directive Habitat en état de conservation bon à moyen ; - déterminants ZNIEFF 2 ; - inscrits à la Directive Habitat de niveau prioritaire dégradé. - Habitats « zones humides » en bon état de conservation
Moyen	Habitats : - semi-naturels ou naturels banals en bon état de conservation ; - inscrits à la Directive Habitats et dégradés. - Habitats « zones humides » en état moyen de conservation ou dégradé - déterminants ZNIEFF 3 en état de conservation bon à moyen ;
Faible	Habitats semi-naturels ou naturels banals en état de conservation dégradé/mauvais.
Très faible	Espaces artificialisés, dégradé, imperméabilisé.

5.1.1.2. HIERARCHISATION DES ESPECES

La hiérarchisation de l'« intérêt patrimonial » des espèces repose sur l'attribution d'un indice intégrant plusieurs critères issus des listes de références classiquement utilisées. Cette hiérarchisation s'applique aux **espèces reproductrices dans la zone d'étude ou à proximité et à leurs habitats**, mais non aux espèces de passage.

Tableau 5 - Méthode de hiérarchisation des enjeux espèces patrimoniales

Majeur	Espèces : - déterminantes ZNIEFF de niveau 1 ; - inscrites aux listes rouges françaises, catégorie « EN » ou « CR ».
Elevé	Espèces : - inscrites à l'Annexe 1 de la Directive Oiseaux ; - inscrites à l'Annexe 2 de la Directive Habitat ; - déterminantes ZNIEFF de niveaux 2 ; - inscrites aux listes rouges françaises, catégorie « VU ».
Moyen	Espèces : « déterminantes ZNIEFF » de niveau 3 ou déterminante ZNIEFF Grand-Est ; - inscrites aux Listes rouges françaises, catégorie « NT » ; - végétales réglementées
Faible	Autres espèces animales ; Espèces végétales classées Rares à Très rares par FLORAINE 2013.
Très faible	Autres espèces végétales.

5.1.1.3. SYNTHÈSE DES ENJEUX « ESPÈCES » ET « HABITATS »

La hiérarchisation des habitats est ensuite comparée aux espèces qui occupent ces habitats

Lors du croisement effectué, (analyse SIG), chaque polygone défini sur la base d'un habitat biologique se voit alors attribuer la valeur maximale obtenue, que ce soit par la hiérarchisation des habitats biologiques ou des habitats d'espèces.

Tableau 6 - Synthèse des enjeux

		Enjeux espèces			
Enjeux habitats		Faible	Moyen	Elevé	Majeur
	Nul	1	2	3	4
	Faible	1	2	3	4
	Moyen	2	2	3	4
	Elevé	3	3	3	4
	Majeur	4	4	4	4

5.1.2. Enjeux patrimoniaux liés aux habitats biologiques

Aucun **enjeu majeur** et aucun **enjeu élevé** n'est présent dans l'emprise de la zone d'étude.

3 habitats présentent un **enjeu moyen**. Ils sont soit déterminants ZNIEFF de niveau 3 ou soit caractéristiques des zones humides :

- Les arbres d'alignement (Erable sycomore, Saule, Frêne, Platane, peuplier et Tilleul) – habitats déterminant ZNIEFF de niveau 3 ;
- Les friches humides – habitat caractéristique des zones humides et déterminant ZNIEFF de niveau 3 ;
- La mare et les dépressions temporaires eutrophes - habitats caractéristiques de zones humides.

Cinq habitats sont des habitats semi-naturels ou naturels dégradés. Ils représentent un **enjeu faible** :

- Friche herbacée ;
- Roncier
- Friche à rosier ;
- Friche arbustive ;
- Recolonisation de Saule marsault.

4 habitats présentent un **enjeu très faible** car très dégradés ou très anthropisés.

Tableau 7 - Synthèse des enjeux liés aux habitats biologiques

Majeur	Aucun
Elevé	Aucun
Moyen	• Mare – Dépression • Friche humide • Arbres d'alignement
Faible	• Friche herbacée • Roncier • Friche à rosier • Friche arbustive • Recolonisation saule marsault
Très faible	• Friche herbacée eutrophe • Friche herbacée rudérale sur remblais • Taillis de Buddleia • Rejets de Robinier faux acacia

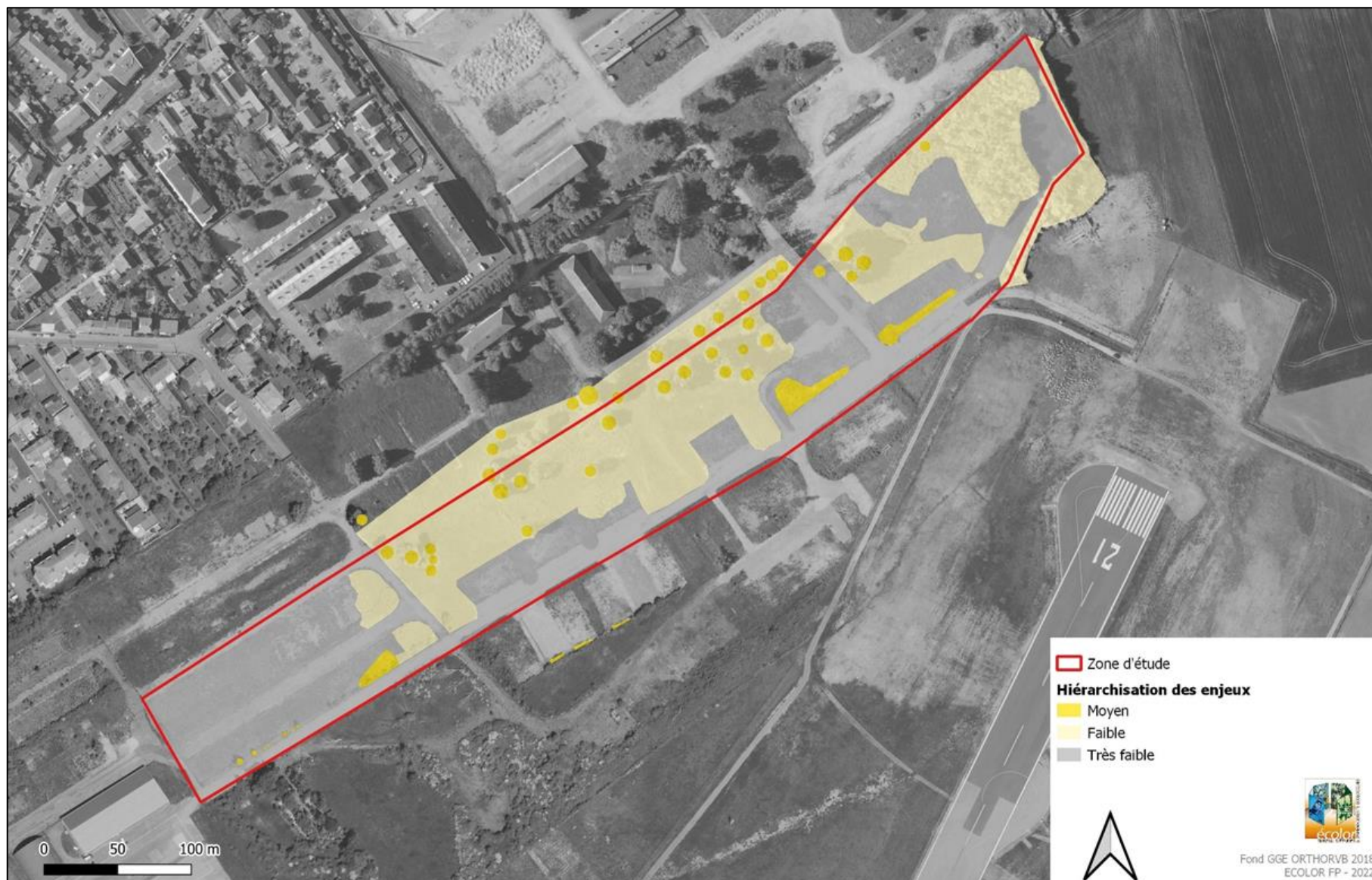


Figure 4 - Enjeux liés aux habitats biologiques présents sur le site Kléber

5.1.3. Enjeux liés aux espèces

ESPECES VEGETALES

Aucune espèce végétale patrimoniale et/ou protégée n'a été recensée au sein de la zone d'étude.

ESPECES ANIMALES

Avifaune

Concernant les espèces d'oiseaux considérées comme nicheuse possible, probable ou certaine au sein de la zone :

- Le **Verdier d'Europe** est classé « vulnérable » dans la Liste Rouge des espèces d'oiseaux menacées de France et la Pie-grièche écorcheur est inscrite à l'annexe I de la Directive Oiseaux. Ces deux espèces représentent donc un **enjeu élevé**. Elles sont liées aux zones buissonnantes et arborées de la zone d'étude ;
- Le **Tarier pâtre** et l'**Alouette des champs** sont classées « quasi menacé » dans la Liste Rouge des espèces d'oiseaux menacées de France. Elles représentent un **enjeu moyen**. Le Tarier pâtre, est susceptible de nicher dans les zones buissonnantes et herbacées de la zone d'étude : ronciers, friches à Sault marsault ou à Aubépines.

Les autres espèces d'oiseaux sont soit communes en France ou en Lorraine ou non nicheuse au sein de la zone d'étude ou sur ses abords proches. Elles représentent donc un **enjeu faible**.

Insectes

Le **Criquet émeraude** représente un **enjeu élevé** car il est déterminant ZNIEFF de niveau 2 en Lorraine.

Cinq espèces représentent un **enjeu moyen** car elles sont déterminantes ZNIEFF pour le Grand-Est ou déterminante ZNIEFF de niveau 3 en Lorraine : le **Criquet de la Palène**, la **Decticelle bicolore**, la **Decticelle chagrinée**, l'**Ædipode turquoise** et l'**Azuré des cytises**.

Les autres espèces d'insectes représentent un **enjeu faible**.

Mammifères

Le **Chevreuil européen**, le **Renard roux** et le **Lièvre d'Europe** constituent un **enjeu faible**.

Chiroptères

Les différents arbres à cavité présents sur la zone d'étude peuvent constituer un enjeu pour les chiroptères. En effet, ils peuvent servir de gîtes à 6 espèces contactées sur la zone d'étude à l'aide des enregistreurs passifs : Le Murin de Daubenton, le Murin à oreilles échancrées, le Grand Murin, la Noctule de Leisler, la Pipistrelle commune et la Pipistrelle de Nathusius.

Le Murin à oreilles échancrées et le Grand Murin sont inscrits à l'annexe 2 de la directive européenne Habitats- Faune-Flore et sont deux espèces déterminantes ZNIEFF de niveau 2. Ces deux espèces représentent par conséquent un **enjeu fort**. Toutes les autres espèces représentent un **enjeu moyen**.

Reptiles

La population de Lézard des murailles est supérieure à 50 individus sur le site Kleber. Cette espèce est donc déterminant ZNIEFF de niveau 2 pour la Lorraine et représente un **enjeu élevé** sur le site Kleber.

Le **Lézard vivipare** est déterminant ZNIEFF de niveau 3 en Lorraine et déterminant ZNIEFF Grand-Est. Il représente donc un **enjeu moyen**.

Amphibiens

Le **Crapaud calamite** est une espèce déterminante ZNIEFF de niveau 2 en Lorraine (population < à 10 individus). Il représente un **enjeu élevé**.

Le **Crapaud commun** et le **Triton alpestre** sont des espèces déterminantes ZNIEFF de niveau 3 en Lorraine. Elles représentent donc un **enjeu moyen**.

Synthèse des enjeux patrimoniaux liés aux espèces

Tableau 8 - Synthèse des enjeux liés aux espèces

Majeur	Aucun
Elevé	Avifaune : Verdier d'Europe / Pie-grièche écorcheur Insectes : Ædipode émeraude Amphibiens : Crapaud calamite Chiroptères : Grand murin Murin à oreilles échancrées
Moyen	Avifaune : Tarier pâle / Alouette des champs Insectes : Criquet de la Palène, / Decticelle bicolore / Decticelle chagrinée / Ædipode turquoise Amphibiens : Crapaud commun / Triton alpestre Reptiles : Lézard des murailles / Lézard vivipare Chiroptères : Oreillard gris / Murin de Daubenton / Noctule de Leisler / Pipistrelle commune / Pipistrelle de Kuhl / Pipistrelle de Nathusius / Sérotine commune
Faible	Avifaune : Avifaune protégée Mammifères : - Chevreuil européen / Lièvre d'Europe / Renard roux Insectes - Espèces non patrimoniales
Très faible	Autres espèces végétales



Figure 5 - Enjeux liés aux espèces sur le site Kléber

5.1.4. Synthèse des enjeux

Les **enjeux élevés** correspondent :

- Aux friches herbacées avec présence d'Ædipode émeraude ;
- Aux éléments arbustifs favorables à la Pie-grièche écorcheur et au Verdier d'Europe ;
- Aux arbres à cavités favorables aux chiroptères ;
- Aux habitats aquatiques favorables au Crapaud calamite (Mare et dépression temporaire).

Aucun **enjeu moyen** n'est à signaler.

Les **enjeux faibles** correspondent aux friches à Saule Marsault, à la friche Buddleja, à la friche herbacée eutrophe et aux éléments arborés non favorables aux espèces patrimoniales mais pouvant abriter d'autres espèces de faune.

Les **enjeux très faibles** correspondent aux voiries défavorables à la faune et à la flore.



Figure 6 - Synthèse des enjeux sur le site Kléber

5.1.5. Enjeux Règlementaires

ESPECES VEGETALES

Aucune espèce végétale protégée n'a été recensée au sein de la zone d'étude ni aux abords proches.

ESPECES ANIMALES

Avifaune

Les individus et l'habitat de 14 espèces d'oiseaux recensées dans la zone d'étude ou aux abords proches sont protégés par l'arrêté du 29 octobre 2009 fixant la liste des oiseaux protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection.

Parmi elles, 3 sont des espèces patrimoniales : le Verdier d'Europe, la Pie-grièche écorcheur et le Tarier pâtre.

Insectes

Aucune espèce protégée n'a été recensée au sein de la zone d'étude ni aux abords proches.

Mammifères terrestres

Aucune espèce protégée n'a été recensée au sein de la zone d'étude ni aux abords proches.

Chiroptères

Toutes les espèces de chiroptères et leur habitat (arbres à cavités) sont protégés par l'arrêté du 23 avril 2007 fixant la liste des mammifères terrestres protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection.

Reptiles

Les individus du Lézard des murailles et leurs habitats sont protégés par l'article 2 de l'arrêté du 19 novembre 2007 fixant la liste des amphibiens et des reptiles protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection.

Les individus du Lézard vivipare sont protégés par l'article 3 de l'arrêté du 19 novembre 2007 fixant la liste des amphibiens et des reptiles protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection.

Amphibiens

Les individus du **Crapaud calamite** sont protégés par l'article 2 de l'arrêté du 19 novembre 2007 fixant la liste des amphibiens et des reptiles protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection. L'habitat aquatique du Crapaud calamite correspond à la mare présente dans la zone d'étude et aux dépressions temporaires à proximité.

Les individus du **Crapaud commun** et du **Triton alpestre** sont protégés par l'article 3 de l'arrêté du 19 novembre 2007 fixant la liste des amphibiens et des reptiles protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection.

Zones humides

0,13 ha de zones humides anthropiques sont présentes sur le site. Aucune valeur fonctionnelle n'est rattachée à ces zones humides.

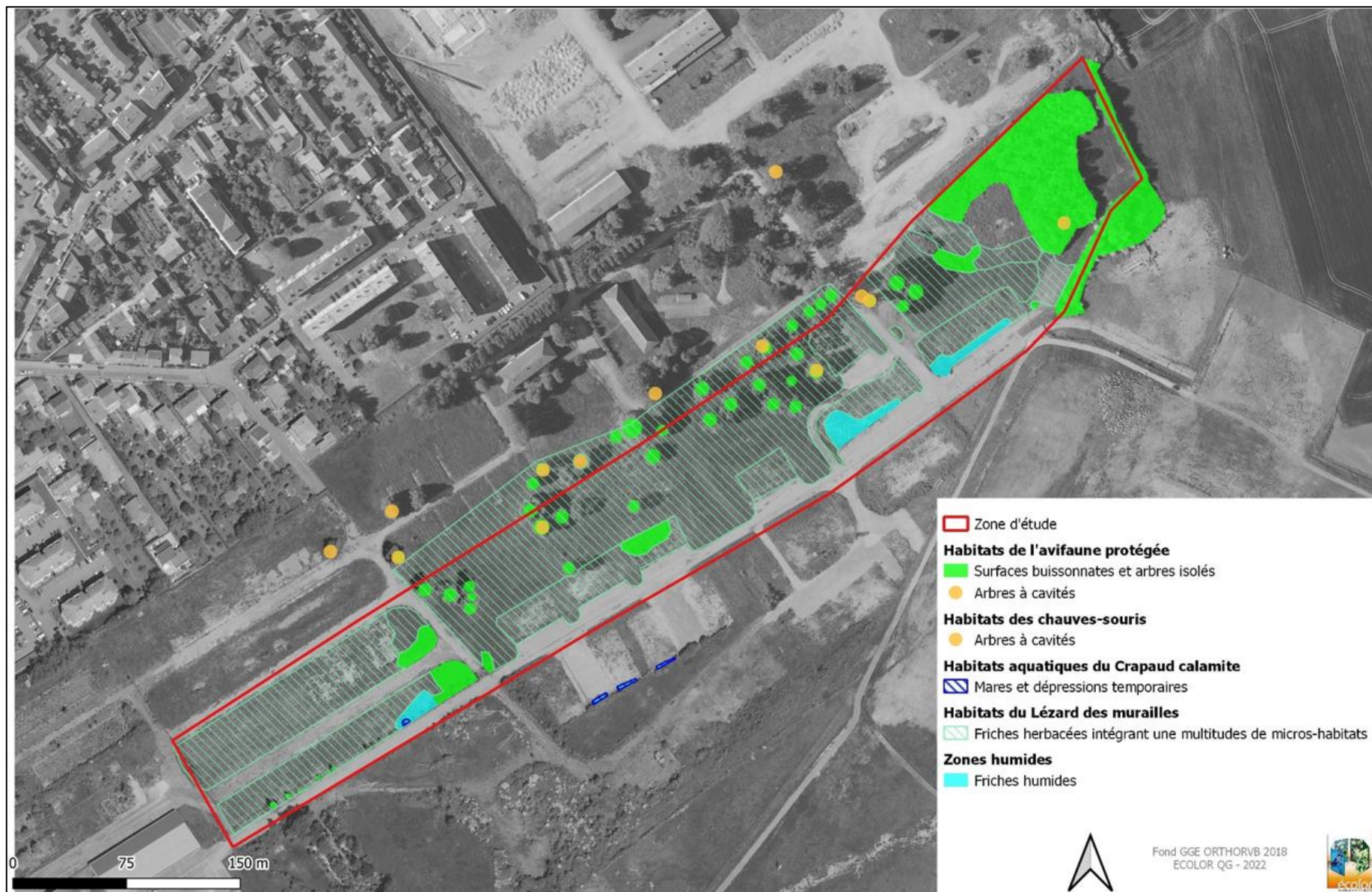


Figure 7 - Enjeux réglementaires sur le site Kléber

5.2. DIAGNOSTIC COMPLEMENTAIRE DE POLLUTION

5.2.1. Rappel du schéma conceptuel initial

Conformément à la méthodologie en vigueur, le schéma conceptuel du site doit permettre de préciser les relations entre :

- Les sources de danger
- Les voies de transfert
- Les récepteurs potentiels

Le schéma conceptuel permet également d'évaluer l'existence d'un enjeu sanitaire et/ou environnemental résultant du triptyque « source de danger / voies de transfert / récepteurs potentiels ».

Sur la base des données disponibles obtenues lors des précédentes études, ARTELIA propose le schéma conceptuel suivant, basé sur l'usage actuel du site (friche enherbée). La zone étudiée est entièrement clôturée, n'accueille aujourd'hui aucun usage ou cheminement, autorisé ou non. On parle alors ici plutôt d'un schéma de fonctionnement du site, servant de base à la définition du programme des investigations à mener en vue de son futur usage.

Tableau 9 : Schéma conceptuel initial

SOURCE	MILIEU DE TRANSFERT	VOIES D'EXPOSITION	EXISTENCE D'UN ENJEU SANITAIRE / ENVIRONNEMENTAL
Métaux (As, Cd, Cr, Cu, Ni et Zn). Teneurs significatives dans les remblais de surface (jusqu'à environ 2 m de profondeur) et ponctuellement dans les marnes.	Sol	Contact cutané, ingestion et inhalation de poussières de sols	OUI (Teneurs en surface et absence de recouvrement sur l'ensemble de la zone d'étude)
	Eaux souterraines et superficielles	Usage des eaux souterraines (AEP, AEI, agricole, puits privé, baignade, pêche, ...)	NON (Nappe non vulnérable : masse d'eau localisée vers 600 m de profondeur et formation géologique peu perméable (marnes))
	Air du sol et air ambiant	Inhalation de substances volatiles	NON (Substances peu volatiles, milieu extérieur)
Hydrocarbures : Teneurs significatives en HAP en P15-1, P15-3 et P100.	Sol	Contact cutané, ingestion et inhalation de poussières de sols	OUI (Teneurs en surface et absence de recouvrement sur l'ensemble de la zone d'étude)
	Eaux souterraines et superficielles	Usage des eaux souterraines (AEP, AEI, agricole, puits privé, baignade, pêche, ...)	NON (Nappe non vulnérable : masse d'eau localisée vers 600 m de profondeur et formation géologique peu perméable (marnes))
	Air du sol et air ambiant	Inhalation de substances volatiles	OUI (Substances volatiles, milieu extérieur. Le futur aménagement de la zone d'étude prévoit la présence de public potentiellement sensible (enfants))

5.2.2. Investigations réalisées

ARTELIA a réalisé :

- 19 sondages de sol
- 3 piézairs

Les objectifs de ces investigations étaient d’affiner le maillage des études antérieures et de caractériser la qualité du sous-sol au droit des aménagements projetés. Les investigations sont résumées dans le tableau suivant et localisées sur la Figure ci-après.

Tableau 10 – Programme d’investigations

Item	Méthode / Programme	Echantillons / Points de surveillance	Analyses / Données	Objectifs
1	Total de 8 sondages jusqu'à environ 2 m de profondeur (limite des remblais) : 1 sondage au droit de chaque futurs jardins filtrants (soit 2 sondages) 2 sondages au droit de la future mare 4 sondages au droit des futurs fossés de collecte	1 échantillon / sondage au droit des futurs aménagements de plantations	Sur tous les échantillons : - Pack HCT (+ coupe pétrolière) / HAP / 8 métaux toxiques => total de 8 analyses 4 échantillons sur les 8 sondages: - Métaux extractibles au DTPA	Caractériser la qualité des sols au droit des aménagements projetés
2	Total de 10 sondages sols jusqu'à environ 2m de profondeur.	1 échantillon / sondage	Sur tous les échantillons : - Pack HCT (+ coupe pétrolière) / HAP / 8 métaux toxiques => total de 10 analyses 5 échantillons sur les 10 sondages : - Métaux extractibles au DTPA Analyses agronomiques sur 50% des sondages, soit 5 échantillons : Granulométrie laser 5 fractions, Matières organiques, Pack Azote Global (NTK,NO2,NO3), Ammonium, Phosphore (P2O5), Potassium (K2O), pH, Calcaire total (CaCO3), Fer, Manganèse	Compléter le maillage général au droit du site
3	Prélèvement d'un échantillon de sol lors du forage des 3 piézairs	1 échantillon de sol / piézair	Sur tous les échantillons de sol : Pack HCT (+ coupe pétrolière) / HAP / 8 métaux toxiques => total de 3 analyses 1 échantillon sur les 3 sondages : Métaux extractibles au DTPA	Caractériser la qualité des sols au droit des aménagements projetés pouvant accueillir du public
4	Pose de 3 piézairs à une profondeur de 1,5 m : 1 piézair au droit du futur terrain de sport 1 piézair au droit du futur espace dédié à l'activité sportive 1 piézair au droit de la future aire de pique-nique	2 campagnes de prélèvements des 3 piézairs + 1 blanc analytique par campagne Total de 4 prélèvements par campagne	Sur tous les piézairs : HCT TPH C5-C16 et BTEXN Sur les blancs : HCT C5-C16 et BTEXN	Caractériser la qualité des gaz du sol au droit des zones sensibles utilisées par le public
5	Réalisation de tests écotoxicologiques sur des sols en laboratoire pour évaluer la toxicité des sols / la tolérance des plantes aux contaminants et aider au choix des espèces végétales à mettre en place.	Les tests ecotoxicologiques sont réalisés au droit des zones présentant les plus fortes teneurs en polluants	Evaluation des transferts de la matrice sol vers les végétaux : - Test écotoxicologique Indice Oméga-3 => total de 2 analyses Evaluation de l'état biologique du sol et sa biodiversité : - Test ecotoxicologique sur C. elegans => total de 2 analyses	Evaluation de l'état et le fonctionnement du sol en place ainsi que sur les risques de transferts des contaminants vers l'écosystème



Figure 8 - Localisation des investigations réalisées par ARTELIA en mars 2022

5.2.3. Résultats des analyses pollution et agronomie

Les résultats des analyses sont résumés dans le tableau suivant.

< : inférieur aux limites de quantifications (LQ)

 : substances non recherchées

 Dépassement seuil ISDI

en vert : valeurs couramment observées dans les sols "ordinaires"

en orange : valeurs couramment observées dans le cas de d'anomalies naturelles modérées

en rouge : valeurs remarquables d'après Artelia et/ou valeurs couramment observées dans le cas de fortes anomalies naturelles

Notes 1 à 5 : Cf description des valeurs guides présentée en annexe

5.2.3.1. Analyses pollution

Tableau 11 – Synthèse des résultats d'analyses de sol (1/2)

		Echantillons prélevés le 10 et 11/03/2022 (mg/kg MS)												Seuils d'acceptation de déchets en Installation de stockage		Bruits de fonds géochimiques			
Substances recherchées	Nom éch, profondeur (à droite) LQ (mg/kg) (en-dessous)	S1(0-1m)	S2(-1,1-1,7m)	S3(-1-2m)	S4(0-1m)	S5(-0,5-1,5m)	S6(-0,2-1,1m)	S7(-1-2m)	S8(0-0,8m)	S10(-1-2m)	S11(0-1m)	S12(0-1m)	S12(-1-2m)	Valeurs seuils d'acceptation des déchets en centre de stockage de déchets inertes (ISDI) - AM 12/12/2014	Valeurs seuil d'acceptation des déchets en centre de stockage de déchets non dangereux (ISDND) - Conseil Européen 19/12/2002	Donnée issues du programme ASPITET de l'INRA sur les sols français			Lorraine - Sols des vallées ferrifères - Moy./Max
																valeurs couramment observées dans les sols "ordinaires "	valeurs couramment observées dans le cas d'anomalies naturelles modérées	valeurs couramment observées dans le cas de fortes anomalies naturelles	
ANALYSES SUR BRUT																			
HYDROCARBURES TOTAUX																			
>C10-C16	4	15,2	157	23	52,3	17,9	205	12,1	100	120	15,3		7,31						
>C16-C22	4	9	34	9	36	8	74	17	42	32	17		17						
>C22-C30	4	4	7	1	67	1	47	25	43	12	17		31						
>C30-C40	4	2	9	4	217	8	30	25	31	6	7		12						
Hydrocarbures totaux (C10-C40)	15	29,5	208	36,5	372	34,3	356	78,4	216	170	55,7		67,1	500					
HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES																			
Naphtalène	0,05	<	<	<	0,33	<	0,12	<	0,053	0,11	0,051		0,064						
Acénaphtylène	0,05	<	<	<	<0.25	<	0,32	0,11	0,15	<	0,29		0,71						
Acénaphène	0,05	0,064	<	<	<0.29	<	0,058	0,061	<	0,068	0,085		0,12						
Fluorène	0,05	0,054	<	<	<0.25	<	0,1	0,085	<	<	0,08		0,25						
Phénanthrène	0,05	0,14	<	<	1,4	0,081	0,64	0,73	0,44	0,097	0,54		1,4						
Anthracène	0,05	<	<	<	<0.29	<	0,35	0,37	0,25	<	0,31		0,87						
Fluoranthène	0,05	<	0,06	<	1,5	0,057	1,9	2	1,4	0,13	1,3		2,9						0,24/3
Pyrène	0,05	<	<	<	0,95	<	1,6	1,5	1,1	0,094	1		2,3						
Benzo(a)anthracène	0,05	<	<	<	0,64	<	0,98	1,1	1,1	0,054	0,87		2						
Chrysène	0,05	<	0,052	<	0,83	<	1	1,3	1,3	0,07	0,97		2,2						
Benzo(b)fluoranthène	0,05	<	0,065	<	1,1	<	1,9	1,5	1,9	0,087	1,4		3,1						0,14/1
Benzo(k)fluoranthène	0,05	<	<	<	0,4	<	0,58	0,6	0,56	<	0,51		1,3						0,09/1
Benzo(a)pyrène	0,05	<	<	<	0,45	<	1	0,91	0,97	<	0,78		2						0,17/0,5
Dibenzo (a,h) anthracène	0,05	<	<	<	<0.28	<	0,19	0,14	0,17	<	0,17		0,42						
Benzo(ghi)pérylène	0,05	<	<	<	0,32	<	0,56	0,45	0,57	<	0,67		1,3						0,11/0,5
Indéno(1,2,3-cd) pyrène	0,05	<	<	<	0,31	<	0,55	0,53	0,7	<	0,68		1,6						0,13/1
Somme des HAP (16) EPA		0,26	0,18	<	8,2	0,14	12	11	11	0,71	9,7		23	50					1,0/7
METAUX (sur brut)																			
As	1	28,1	109	69,8	19,7	42,7	42,2	27	30,2	19,7	46,9		32,7			1 à 25	30 à 60	60 à 284	40/200
Cd	0,4	0,41	0,96	0,66	<	0,62	0,66	<	0,66	<	0,66		0,54			0,05 à 0,45	0,70 à 2,0	2,0 à 46,3	2/5
Cr tot	5	138	193	88,6	75,8	107	66,8	60,6	69,6	32,8	100		56,9			10 à 90	90 à 150	150 à 3 180	80/500
Cu	5	9,91	14	12,9	5,17	13,7	20,5	19,5	21,8	22,2	14		20,2			2 à 20	20 à 62	65 à 160	15/50
Hg	0,1	<	<	0,12	<	0,65	<	<	<	<	0,11		<			0,02 à 0,1	0,15 à 2,3		0,5/2
Pb	5	17,6	48,4	28,4	43,2	30,2	109	28,4	65	16,4	28,1		26,5			9 à 50	50 à 90	100 à 10 180	25/100
Ni	1	279	367	184	25,2	142	83,2	93,8	69,1	49,5	229		137			2 à 60	60 à 130	130 à 2 076	30/100
Zn	5	37,3	72	60,5	142	75,1	127	98,9	195	59,1	101		104			10 à 100	100 à 250	250 à 11 426	120/500
GENERALITE																			
Matière sèche		81,5	80,1	75,2	89,7	85,3	82,6	81,7	84,1	83,8	81,9		80,4						

Tableau 12 : Synthèse des résultats d’analyses de sol (2/2)

		Echantillons prélevés le 10 et 11/03/2022 (mg/kg MS)											Seuils d'acceptation de déchets en Installation de stockage		Bruits de fonds géochimiques			
Substances recherchées	Nom éch, profondeur (à droite) LQ (mg/kg) (en-dessous)	S13(0-1m)	S14(-1-2m)	S15(0-1m)	S16(0-1m)	S16(-1,5-2m)	S17(-1-2m)	S18(-1-2m)	S19(-1-2m)	Pza-1(-0,5-1,5m)	Pza-2(0-1m)	Pza-3(0-1m)	Valeurs seuils d'acceptation des déchets en centre de stockage de déchets inertes (ISDI) - AM 12/12/2014	Valeurs seuil d'acceptation des déchets en centre de stockage de déchets non dangereux (ISDND) - Conseil Européen 19/12/2002	Donnée issues du programme ASPITET de l'INRA sur les sols français			Lorraine - Sols des vallées ferrifères - Moy./Max
															valeurs couramment observées dans les sols "ordinaires "	valeurs couramment observées dans le cas d'anomalies naturelles modérées	valeurs couramment observées dans le cas de fortes anomalies naturelles	
ANALYSES SUR BRUT																		
HYDROCARBURES TOTAUX																		
>C10-C16	4	14,9	124	24		<	48,9	98,3	16,1	13,9	23,9	96,7						
>C16-C22	4	6	37	24		<	144	26	16	12	34	21						
>C22-C30	4	5	22	28		<	157	80	9	12	41	9						
>C30-C40	4	16	13	25		<	107	448	6	34	33	9						
Hydrocarbures totaux (C10-C40)	15	41,9	196	101		<	457	653	46,3	72,5	132	136	500					
HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES																		
Naphtalène	0,05	<	0,058	0,087		<	0,73	0,055	0,077	<	0,073	<						
Acénaphtylène	0,05	<	0,065	0,093		<	1	0,16	<	<	0,2	<						
Acénaphtène	0,05	0,082	<	0,073		<	1,9	0,053	0,16	0,05	0,21	<						
Fluorène	0,05	0,056	<	0,11		<	2,7	0,06	0,13	0,069	0,28	<						
Phénanthrène	0,05	0,23	0,41	1,1		0,081	23	0,42	0,53	0,38	2,1	0,086						
Anthracène	0,05	0,06	0,15	0,19		<	4,1	0,21	0,092	0,16	0,66	<						
Fluoranthène	0,05	0,27	0,64	1,5		0,076	19	1,2	0,39	0,62	4,3	0,11						0,24/3
Pyrène	0,05	0,22	0,55	1,2		0,061	13	1,1	0,33	0,37	2,7	0,079						
Benzo(a)anthracène	0,05	0,19	0,55	0,84		0,053	11	0,8	0,2	0,26	1,7	0,064						
Chrysène	0,05	0,27	0,64	1,1		0,068	14	0,93	0,32	0,26	1,8	0,077						
Benzo(b)fluoranthène	0,05	0,29	0,79	1,1		0,081	13	1,9	0,35	0,37	3	0,098						0,14/1
Benzo(k)fluoranthène	0,05	0,13	0,29	0,36		<	4,8	0,53	0,15	0,1	0,85	<						0,09/1
Benzo(a)pyrène	0,05	0,14	0,47	0,49		0,053	5,3	1	0,2	0,2	1,5	<						0,17/0,5
Dibenzo (a,h) anthracène	0,05	<	0,077	0,08		<	1,3	0,19	<	0,064	0,43	<						
Benzo(ghi)pérylène	0,05	0,096	0,24	0,31		<	3,1	0,57	0,11	0,11	1	<						0,11/0,5
Indéno(1,2,3-cd) pyrène	0,05	0,094	0,3	0,32		<	4	0,6	0,11	0,21	1,8	<						0,13/1
Somme des HAP (16) EPA		2,1	5,2	9	0,47	120	9,8	3,1	3,2	23	0,51	50					1,0/7	
METAUX (sur brut)																		
As	1	25,1	72,3	36,4		27,8	36,6	51,8	23,5	17	32,3	12,4			1 à 25	30 à 60	60 à 284	40/200
Cd	0,4	0,48	0,81	0,61		0,42	0,83	0,55	<	<	0,85	<			0,05 à 0,45	0,70 à 2,0	2,0 à 46,3	2/5
Cr tot	5	70,5	58,4	77		81,2	102	87,8	52	48,4	77,3	45,1			10 à 90	90 à 150	150 à 3 180	80/500
Cu	5	17,6	19,4	18,8		16,4	28,8	26,3	19,4	16,8	21,4	21,7			2 à 20	20 à 62	65 à 160	15/50
Hg	0,1	0,14	<	0,13		0,3	0,19	<	<	<	0,12	<			0,02 à 0,1	0,15 à 2,3		0,5/2
Pb	5	26,8	27,5	25,3		23,8	43	51,5	30,7	18,3	40,1	20,9			9 à 50	50 à 90	100 à 10 180	25/100
Ni	1	170	93	129		138	132	111	84	58,8	107	40,9			2 à 60	60 à 130	130 à 2 076	30/100
Zn	5	119	64,3	103		115	138	130	77,4	56,6	136	56,3			10 à 100	100 à 250	250 à 11 426	120/500
GENERALITE																		
Matière sèche		85	79	82,1		82,3	82,8	79,9	82	84,1	83	80,6						

Tableau 13 - Synthèse des résultats d’analyses métaux extractibles au DTPA dans les sols (1/1)

												Bruits de fonds géochimiques					
		Echantillons prélevés le 10 et 11/03/2022 (mg/kg MS)										Bruits de fonds géochimiques Donnée issues du programme ASPITET de l'INRA sur les sols français			Lorraine - Sols des vallées ferrifères - Moy./Max		
Substances recherchées	Nom éch, profondeur (à droite) LQ (mg/kg) (en-dessous)	S2(-1,1-1,7m)	S4(0-1m)	S6(-0,2-1,1m)	S8(0-0,8m)	S10(-1-2m)	S12(0-1m)	S14(-1-2m)	S16(0-1m)	S18(-1-2m)	Pza-3(0-1m)	valeurs couramment observées dans les sols "ordinaires "	valeurs couramment observées dans le cas d'anomalies naturelles modérées	valeurs couramment observées dans le cas de fortes anomalies naturelles			
ANALYSES SUR BRUT																	
Métaux extractibles au DTPA																	
Fer		48,4	28	25,8	26,6	17,6	35,7	48	30,7	55,4	18,9						
Manganèse		23,8	80,7	11,1	14,1	4,8	13	10,6	13,4	16,7	<0.50						
Nickel		<0.25	0,21	0,66	0,84	0,59	1,5	0,91	0,81	1,3	0,91						
Chrome		0,09	0,1	0,09	0,09	0,12	0,12	0,11	0,11	<	0,11						
Cadmium		0,01	<0.01	0,04	0,02	0,03	0,03	0,02	0,04	0,07	0,02						
Plomb		0,68	0,74	24	3,1	3,5	3,6	2,5	4,4	9,1	2,2						
Cuivre		<0.35	<0.35	1,5	1,1	1,1	1,3	1	1,2	2,4	1,2						
Zinc		<0.25	1,1	4,7	1	6,9	3,3	1,2	1,5	5,1	1,8						
METAUX (sur brut)																	
As	1	109	19,7	42,2	30,2	19,7		72,3		51,8	12,4	1 à 25	30 à 60	60 à 284	40/200		
Cd	0,4	0,96	<	0,66	0,66	<		0,81		0,55	<	0,05 à 0,45	0,70 à 2,0	2,0 à 46,3	2/5		
Cr tot	5	193	75,8	66,8	69,6	32,8		58,4		87,8	45,1	10 à 90	90 à 150	150 à 3 180	80/500		
Cu	5	14	5,17	20,5	21,8	22,2		19,4		26,3	21,7	2 à 20	20 à 62	65 à 160	15/50		
Hg	0,1	<	<	<	<	<		<		<	<	0,02 à 0,1	0,15 à 2,3		0,5/2		
Pb	5	48,4	43,2	109	65	16,4		27,5		51,5	20,9	9 à 50	50 à 90	100 à 10 180	25/100		
Ni	1	367	25,2	83,2	69,1	49,5		93		111	40,9	2 à 60	60 à 130	130 à 2 076	30/100		
Zn	5	72	142	127	195	59,1		64,3		130	56,3	10 à 100	100 à 250	250 à 11 426	120/500		
Pourcentage de Métaux extractible																	
Cd	%	1,042	<	6,061	3,030	<		2,469		12,727	<						
Cr tot		0,047	0,132	0,135	0,129	0,366		0,188		<	0,244						
Cu		<	<	7,317	5,046	4,955		5,155		9,125	5,530						
Hg																	
Pb		1,405	1,713	22,018	4,769	21,341		9,091		17,670	10,526						
Ni		<	0,833	0,793	1,216	1,192		0,978		1,171	2,225						
Zn		<	0,775	3,701	0,513	11,675		1,866		3,923	3,197						

5.2.3.1. Analyses agronomiques

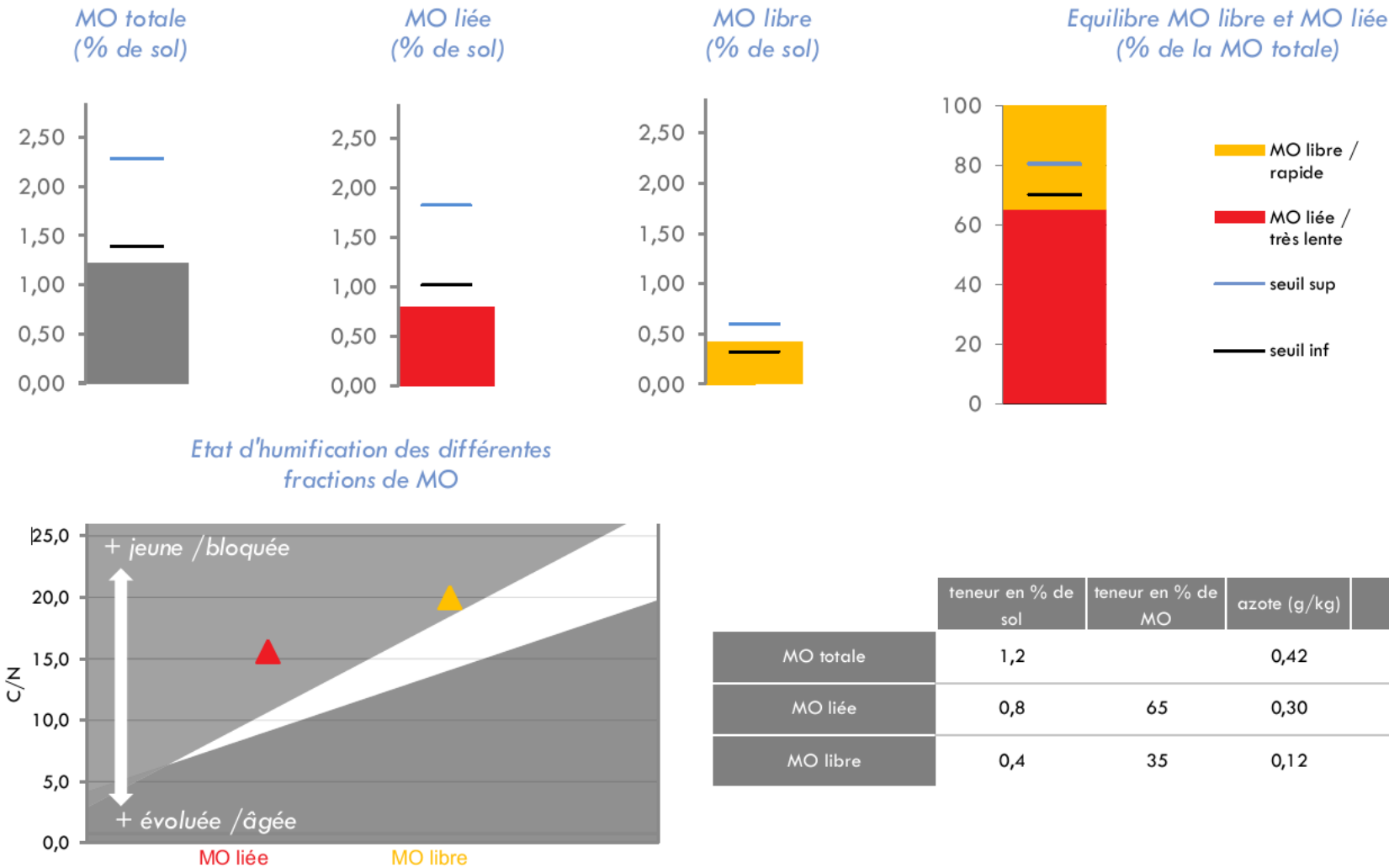
Tableau 14 - Synthèse des résultats agronomiques dans les sols

Nom échantillon	pH H ₂ O	K ₂ O	MgO	CaO	Na ₂ O	CEC	Tx de saturation	matière organique	Phosphore	Cuivre	Zinc	Fer	Manganèse	Azote	Bore	Calcaire actif	Calcaire total	C/N	CE
	unité pH	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	cmol+/kg	%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%		%	%		mS/m à 25°C
S7 (0-1M)	8,5	0,535	0,307	11,11	0,041	15,7	270	1,01	39	2,7	6,2	30,3	58,5	0,05	1,67	2,13	12,85	11,7	22,3
S10 (0-1M)	8,5	0,184	0,243	10,22	0,050	13,4	285	2,19	12	2,6	13,6	33,9	43,1	0,05	0,39	2,63	9,49	25,5	20,3
S12 (0-1M)	8,4	0,198	0,268	10,69	0,049	15,4	260	1,13	24	1,8	3,8	34,0	61,5	0,07	0,43	3,88	14,63	9,4	18,1
S14 (0-1M)	8,5	0,230	0,251	10,94	0,020	16,0	255	1,50	25	3,0	5,4	30,1	38,5	0,08	0,59	2,25	7,71	10,9	18
S16 (0-1M)	8,3	0,175	0,222	10,58	0,016	16,2	243	2,32	15	1,9	2,5	22,5	16,6	0,09	0,31	2,38	9,69	15,0	15,7
S18 (0-1M)	8,3	0,239	0,344	10,55	0,019	15,4	259	2,27	51	2,6	5,6	32,6	81,3	0,10	0,69	2,00	8,31	13,2	17,8

Tableau 15 - Synthèse des résultats granulométriques dans les sols

Nom échantillon	Argile	Sables grossiers	Sables fins	Limons grossiers	Limons fins	Indice de battance
	%	%	%	%	%	
S7 (0-1M)	21,5	45,0	8,9	8,4	16,2	0,7
S10 (0-1M)	35,8	16,2	11,3	11,1	25,6	0,5
S12 (0-1M)	39,2	11,1	10,0	11,5	28,2	0,7
S14 (0-1M)	37,8	20,9	8,5	11,3	21,5	0,5
S16 (0-1M)	39,2	21,3	7,2	11,7	20,6	0,4
S18 (0-1M)	34,1	27,8	8,2	10,8	19,1	0,4

Tableau 16 – Caractérisation des matières organiques



5.2.3.2. Résultats d’analyses des gaz du sol

Tableau 17 : Synthèse des résultats d’analyses des gaz du sol – Campagne mars et août 2022

								Echantillons prélevés le 11/03/2022 (mg/m3)				Echantillons prélevés le 03/08/2022 (mg/m3)			
Substances recherchées		N°CAS	LQ (µgtube)	LQ (mg/m³) - Mars 2022			LQ (mg/m³) - Août 2022	Pza-1	Pza-2	Pza-3	Blanc	Pza-1	Pza-2	Pza-3	Blanc
				Pza-1	Pza-2	Pza-3	Pza-1 à Pza-3								
CAV - BTEX	Benzène		0,05	0,0016	0,0015	0,0014	0,0016	<	<	<	<	<	<	<	<
	Ethylbenzène		0,1	0,0031	0,0030	0,0029	0,0032	<	0,006	<	<	0,008	0,011	0,009	<
	Toluène		0,2	0,0063	0,0061	0,0057	0,0064	<	0,003	<	<	0,004	0,005	0,004	<
	m, p -Xylène		0,1	0,0031	0,0030	0,0029	0,0032	0,009	0,016	0,005	<	0,016	0,022	0,019	<
	o-Xylène		0,05	0,0016	0,0015	0,0014	0,0016	0,004	0,006	0,002	<	0,007	0,010	0,009	<
	Xylènes (o, m et p)		0,1	0,0031	0,0030	0,0029	0,0032	0,013	0,022	0,007	<	0,023	0,032	0,028	<
HC aliphatiques	>C5-C6		2,5	0,0784	0,0760	0,0716	0,0796	<	<	<		<	<	<	
	>C6-C8		2,5	0,0784	0,0760	0,0716	0,0796	<	<	<		<	<	<	
	>C8-C10		2,5	0,0784	0,0760	0,0716	0,0796	0,110	0,228	<		0,080	0,104	<	
	>C10-C12		2,5	0,0784	0,0760	0,0716	0,0796	0,313	0,419	0,084		0,350	0,404	0,379	
	>C12-C16		2,5	0,0784	0,0760	0,0716	0,0796	0,202	0,219	<		0,876	0,589	0,513	
	Total Aliphatiques		2,5	0,0784	0,0760	0,0716	0,0796	0,624	0,866	0,084		1,306	1,099	0,892	
HC aromatiques	>C8-C10		2,5	0,0784	0,0760	0,0716	0,0796	<	<	<		<	<	<	
	>C10-C12		2,5	0,0784	0,0760	0,0716	0,0796	<	<	<		<	<	<	
	>C12-C16		2,5	0,0784	0,0760	0,0716	0,0796	<	<	<		<	<	<	
HCT volatils	>C5-C8		5	0,1567	0,1520	0,1433	0,1592				<				<
	> C8 - C10		5	0,1567	0,1520	0,1433	0,1592				<				<
	> C10 - C12		5	0,1567	0,1520	0,1433	0,1592				<				<
	HCT C5-C12		5	0,1567	0,1520	0,1433	0,1592				<				<
HAP	Naphtalène	91-20-3	0,1	0,0031	0,0030	0,0029	0,0032	<	<	<	<	<	<	<	<

< : inférieur à la limite de quantification (LQ)

: substance non recherchée

5.2.4. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

5.2.4.1. Identification des impacts et sources de pollution

Les résultats des analyses de sols réalisées mettent en évidence :

- La présence de **HAP** au droit du sondage S17 entre 1 et 2 m de profondeur avec une concentration de 120 mg/kg. Cet impact est dans la même gamme de teneur que les prélèvements P100 et P15 réalisés par Artelia en 2016 (concentrations en HAP entre 102 et 138 mg/kg) localisés à quelques dizaines de mètres. Le reste des échantillons présentent des teneurs inférieures au seuil de classification matériaux inertes. L'échantillon Pza-1 et S7 (constitués de remblais) permettent de délimiter l'extension au sud et à l'ouest ;
- La présence de concentrations en **hydrocarbures C10-C40** comprises entre 30 et 653 mg/kg au droit de l'ensemble des échantillons analysés. La teneur maximale enregistrée se situe au droit du sondage S18, dans un secteur d'ores et déjà identifié comme présentant des impacts en composés organiques (sondages P15 et P100). Cette concentration semble ainsi correspond au bruit de fond des remblais du secteur ;
- La présence de dépassements des valeurs de bruits de fonds en **éléments traces métalliques sur brut**, sur la quasi-totalité des échantillons analysés. Des concentrations remarquables ont été observées, avec notamment des dépassements dans le cas de fortes anomalies naturelles :
 - 3 échantillons sur 23 présentent des dépassements en Arsenic. La concentration maximale observée (109 mg/kg) correspond à l'échantillon S2(-1-1,7m) localisé dans une couche de remblais comme pour l'échantillon S14(-1-2m). L'échantillon S3(-1-2m) est quant à lui localisé dans le terrain naturel ;
 - 9 échantillons sur 23 présentent (soit environ 40% des échantillons) présentent des dépassements en Nickel ;
 - 1 échantillon sur 23 présente un dépassement en Chrome avec une concentration de 193 mg/kg au droit de S2 dans les remblais ;
 - 1 échantillon sur 23 présente un dépassement en Plomb avec une concentration de 109 mg/kg au droit du sondage S6 dans la couche superficielle de remblais.

Sur la Figure 29 ci-dessous, on aperçoit que ces impacts en éléments traces métalliques sont répartis de manière hétérogène au droit de l'ensemble du site d'étude.

Les impacts en HAP identifiés antérieurement (sondages P15 et P100) et dans le cadre du présent diagnostic (S17) peuvent être considérés comme des zones sources concentrées à traiter.

Les concentrations anomaliques en As, Cr, Pb et Ni sur brut sont réparties de manière aléatoire principalement dans les remblais entre 0 et 2m, reflétant la qualité intrinsèque des remblais (probablement en lien avec les différentes phases de construction / démolition de la caserne).

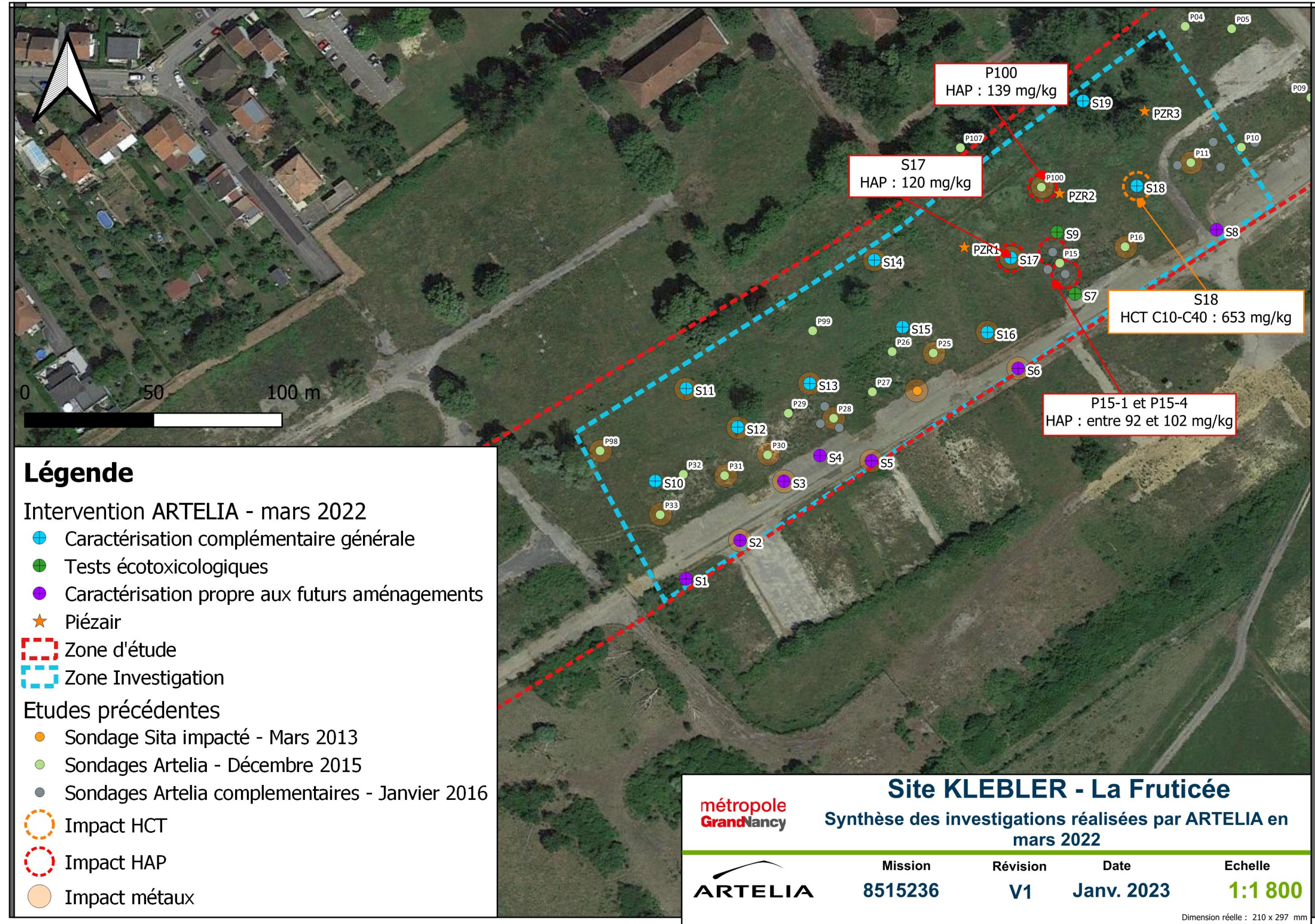


Figure 9 - Synthèse des investigations réalisées par ARTELIA en mars 2022

5.2.4.2. Valeur agronomique

Les résultats mettent en évidence :

- Matière Organique totale :

Le sol présente une teneur de 1,22% de matière organique totale. Cette valeur est faible et il apparaît nécessaire de la relever afin d'améliorer les propriétés physiques, chimiques, et biologiques du sol.

Les points suivants permettent de déterminer le type d'apport à privilégier et/ou la modification de l'itinéraire technique à envisager.

- Matières Organiques libres : réserves à moyen terme

La teneur en matières organiques libres (matières organiques les plus facilement consommées) est de 0,42%. Cette valeur est satisfaisante : ces matières organiques libres sont le principal apport d'énergie pour la vie du sol et elles sont ici en quantité suffisante.

Le rapport C/N de la MO libre est de 20. Il caractérise une MO correctement évoluée, encore jeune, énergétique pour la faune et la microflore du sol.

- Matières Organiques liées : réserves à long terme

La teneur en matières organiques liées (matières organiques les plus stables dans le temps) est faible, ce déficit évalué par hectare (pour une profondeur de 20 cm) à 21,1 tonnes est préjudiciable pour le sol et d'éventuelles cultures, car de nombreuses propriétés agronomiques s'en trouvent affectées : érosion des sols de par la fragilité des agrégats et difficulté à obtenir une bonne stabilité structurale, faible stock potentiel de fourniture d'éléments minéraux (N,P...) du sol aux plantes, faible résistance aux stress environnementaux (sécheresse, inondations...).

Le rapport C/N de la MO liée est de 15,6. Cette valeur est élevée et caractérise des humus pas complètement évolués et stabilisés, pas complètement fonctionnels. Leur amélioration nécessitera une mobilisation des réserves azotées du sol.

- Équilibre des compartiments libre et lié (équilibre des réserves entre court et long terme)

Les compartiments organiques du sol ne sont pas très équilibrés : les réserves organiques sur le long terme sont faibles en comparaison avec les réserves à plus court terme (65% contre 35% du carbone total). Selon la nature plus ou moins humigène de ces réserves à court terme (MO libres) le déséquilibre pourra être compensé naturellement dans les années à venir, sous réserve que le sol soit vivant et apte à les transformer.

5.2.4.3. Métaux extractibles au DTPA

Cette approche chimique permet d'évaluer la disponibilité environnementale des contaminants en mesurant les fractions qualifiées de « mobiles », « mobilisables » ou « facilement échangeables », obtenues à partir d'un extractant, ici le DTPA, un agent chélatant.

Dans leur principe, la démarche considère qu'un contaminant donné sera d'autant plus susceptible d'interagir avec des organismes vivants, et notamment d'être absorbé par des plantes, qu'il sera facile à extraire de la matrice solide.

A noter, bien que ces méthodes soient censées refléter la fraction « absorbable » par les plantes - et par extension, par les organismes du sol -, les corrélations avec les teneurs réellement accumulées sont souvent assez variables selon les types de sols et les espèces considérées.

Sur les 8 paramètres étudiés, 5 représentent des oligo-éléments (Fer, Manganèse, Zinc, Cuivre, Nickel), principaux oligo-éléments pour les végétaux, et 3 sont considérés comme des contaminants (Plomb, Cadmium, Chrome).

10 échantillons ont été constitués sur KLEBER. Les résultats obtenus appellent les commentaires suivants :

- Oligo-éléments :
 - Le fer et le Manganèse correspondent aux paramètres les plus représentés, en lien avec leur plus grande abondance dans les sols ;
 - Le part de Cuivre extractible varie entre 5 et 9%. Pour les échantillons présentant de faibles concentrations en cuivre dans les sols (S2 et S4), aucune fraction mobilisable n'est observée ;
 - Le pourcentage de Zinc extractible est variable et compris entre 1 et 12%. D'après les résultats, plus les concentrations en Zinc dans les sols sont élevées et plus la part de métaux extractibles est faible ;
 - Le Nickel semble être peu mobilisables, avec un pourcentage de Nickel extractible inférieur à 2,2% pour l'ensemble des échantillons pour lesquels les analyses ont été réalisées. A noter que pour l'échantillon S1 (présentant la concentration en Nickel la plus élevée), aucune fraction mobile n'est observée.
- Contaminants :
 - Le Chrome correspond au paramètre le plus faiblement mobilisables, avec des pourcentages de Chrome extractible inférieurs à 0,4% pour l'ensemble des échantillons pour lesquels les analyses ont été réalisées ;
 - Le pourcentage de Cadmium mobilisable est variable et est compris entre 1 et 12%. D'après les résultats, plus les concentrations en Cadmium dans les sols sont élevées et plus la part de métaux extractibles est faible ;
 - Le Plomb semble être facilement mobilisable. Cependant les échantillons S2 et S1 présentent un pourcentage de Plomb extractible inférieur à 2%, le reste des échantillons présentant des pourcentages variants entre 5 et 22%.

5.2.4.4. Tests écotoxicologiques : Bioindicateurs

D'après le Guide de l'ADEME « LES BIO-INDICATEURS DE L'ÉTAT DES SOLS - PRINCIPE ET EXEMPLES D'UTILISATION » de mai 2017, les outils de terrain de type bioindicateurs visent à évaluer l'accumulation et la biodisponibilité des contaminants du sol et/ou leur(s) effet(s) sur un organisme (ou une partie d'un organisme ou encore une communauté d'organismes) suite à leur exposition in situ aux contaminants du sol.

Ces indicateurs renseignent sur l'état et le fonctionnement du sol en place ainsi que sur les risques de transferts des contaminants vers l'écosystème. Pour être utilisés, les réponses de ces organismes à la contamination doivent être connues scientifiquement, et être associées à des fonctions du sol. Par ailleurs, le protocole de caractérisation doit présenter des qualités de mesure (précision, fiabilité, robustesse) et d'interprétation. Ces bioindicateurs peuvent être basés sur le prélèvement d'organismes vivants (végétaux, faune, microflore) dans le sol (bio-indication passive) ou sur l'introduction sur le site d'organismes d'élevage, généralement encagés ou marqués, afin d'être exposés aux contaminants (bio-indication active). Les temps de réponse des bioindicateurs peuvent être variables : certains bioindicateurs, basés sur des modifications/adaptations à l'échelle des communautés ou des populations ne sont aptes à détecter que des changements à long terme des écosystèmes (les modifications peuvent parfois être très longues à se produire et se stabiliser). D'autres indicateurs biologiques tels que des modifications cellulaires ou métaboliques (ex : Indice Oméga 3, activités biologiques) ont une réponse rapide (quelques heures à quelques jours) et permettent de détecter des effets précoces qui peuvent à plus long terme se traduire en atteintes irréversibles sur l'individu, la communauté ou l'écosystème.

2 sondages ont été ciblés pour réaliser ces tests : le sondage S7 et S9. Ils ont été réalisés à la tarière mécanique, NF ISO 18400-102 : 2017 « Qualité du sol -- Échantillonnage -- Partie 102 : Choix et application des techniques d'échantillonnage. Les prélèvements de sols ont été réalisés en surface (30 premier centimètres) suivant la norme ISO 18403-203 d'octobre 2018 relative à la qualité du sol et à l'échantillonnage.

Les échantillons de sol ont été prélevés de façon manuelle et ont été conditionnés dans des flacons propres fournis par le laboratoire et adaptés à chaque type d'analyse. Ils ont été stockés et transportés à l'abri de la chaleur et de la lumière jusqu'à leur arrivée en chambre froide du laboratoire. Des gants à usage unique ont été utilisés pour chaque manipulation d'échantillon afin d'éviter les contaminations croisées.

La lithologie observée au droit de ces 2 sondages correspond à des remblais limoneux avec présence de briques.

a) Bioindicateur Indice Oméga

L'indice Oméga 3 est un biomarqueur d'exposition et d'effets des métaux et autres types de polluants organiques (notamment HAP et pesticides). **Il est basé sur l'analyse de la quantité relative de lipides des membranes chlorophylliennes, molécules très sensibles à la présence de dérivés réactifs de l'oxygène (DRO) générées en présence de polluants dans les sols.** Ces lipides sont indispensables pour le bon fonctionnement de la photosynthèse, elle-même importante pour la croissance des végétaux. L'indice Oméga-3-Végétaux renseigne ainsi sur l'état de santé des végétaux.

La méthode d'analyse utilisée est conforme à la norme AFNOR NF X31-233:2020. « Cette méthode consiste à mesurer l'impact de polluants sur la composition en acides gras de *Lactuca sativa* (laitues). »

A noter pour l'interprétation, les valeurs sont comprises entre 0 et 1 : plus l'indice Oméga 3 est faible et plus les plantes sont stressées et donc plus l'échantillon mesuré est toxique.

Echantillon	Traitement	Humidité (%)	CRE (%)	pH	Germination (%)	Biomasse (g)	Indice Omega-3 normalisé
S7	Séchage (RT) Broyage Tamisage	4	40,5	8,08	68,9±13,9	0,10±0,01	0,83±0,04^b
S9	Tamisage	15,6	55,6	8,27	75,6±13,9	0,18±0,02	0,97±0,06^{cd}

Interprétation des résultats de l'indice Oméga-3 d'après l'échelle d'écotoxicité

Test	Impact toxique	S7	S9
Indice Oméga-3	Nul à faible		
	Moyen		
	Fort		
	Très fort		

Echelle d'écotoxicité : Impact toxique nul à faible = 1 à 0,93 ; Impact toxique moyen < 0,93 ; Impact toxique fort < 0,85 ; Impact toxique très fort < 0,75

Les résultats mettent en évidence les éléments suivants :

- S7 fortement toxique par rapport au sondage S9, indiquant ainsi un stress sur les plantes. En effet l'indice Oméga 3 est de 0,83 montre un impact fortement toxique. Une hypothèse pouvant expliquer cette observation serait la présence de contaminants organiques non analysés (potentiellement des résidus d'herbicides notamment). Il est en effet probable que cette zone ait subi des traitements d'herbicides pour éviter la prolifération de végétation au droit de l'ancienne caserne ;
- Le sondage S9 ne présente pas d'impact toxique sur les plantes, son indice Oméga 3 est en effet proche de la valeur 1, et n'est donc pas toxique pour les plantes.

A noter que la plante utilisée (*Lactuca sativa*) est très sensible : les résultats peuvent varier en cas d'utilisation d'une autre plante.

b) Bioindicateur C. Elegans

Les indices Nématodes sont des bioindicateurs d'effets et d'impacts mesurés *in situ*. Ils sont basés sur l'analyse de la nématofaune qui est la communauté des nématodes du sol. Ces organismes sont des vers microscopiques (de l'ordre d'1 mm de longueur) ubiquistes et abondants qui sont sensibles aux conditions du milieu et aux perturbations physiques ou chimiques. Par conséquent, les indices Nématodes renseignent sur l'état biologique du sol et sa biodiversité.

Par ailleurs, le test écotoxicologique utilisant le Nématode *Caenorhabditis elegans* mesure *in vitro* la toxicité du sol sur des organismes pluricellulaires.

Dans ces tests, la survie et la reproduction d'un nématode modèle *Caenorhabditis elegans* sont mesurées et permettent de quantifier le niveau de pollution des prélèvements selon la méthode décrite dans la norme NF ISO 10872 (2010).

Principe (Source : rapport ELISOL) :

Des individus juvéniles de *C. elegans* sont exposés à l'échantillon de sol à tester pendant une période de 96 heures. Dans le témoin (sol non contaminé Lufa 2.2), les organismes d'essai peuvent accomplir un cycle de vie complet au cours de cette période. L'échantillon de sol est considéré comme toxique lorsqu'une inhibition de la croissance, de la fertilité ou de la reproduction de *C. elegans*, comparé aux résultats obtenus avec le sol témoin, est mesurée. La toxicité est exprimée en pourcentage d'inhibition des trois paramètres : plus le sol est toxique, plus l'inhibition est élevée.

Les résultats d'analyses mettent en évidence une forte toxicité pour les nématodes *C. Elegans* pour les 2 échantillons prélevés (S7 et S9) au droit du site Kléber, notamment pour la reproduction. En effet les pourcentages d'inhibition de reproduction de ces échantillons sont compris entre 54 et 69 %.

5.2.4.5. QUALITÉ DES GAZ DU SOL

Les résultats d'analyses mettent en évidence les éléments suivants :

- La détection de **BTEX** au droit de l'ensemble des ouvrages, avec des concentrations en :
 - **Ethylbenzène** et **Toluène** à l'état de traces au droit de PZR2 lors de la campagne en mars et l'ensemble des ouvrages lors de campagne d'août. Les concentrations sont proches de la limite de quantification du laboratoire ;
 - **Xylènes**, comprises entre 0,007 (PZR3) et 0,032 mg/m³ (PZR2) au droit des 3 piézairs lors de 2 campagnes. Ces concentrations sont environ 10 fois supérieures à la limite de quantification du laboratoire.
- La détection d'**hydrocarbures aliphatiques** au droit de l'ensemble des ouvrages lors de 2 campagnes. Les concentrations obtenues lors de la campagne d'août 2022 sont supérieures à celles observées en mars 2022. Notamment au droit de Pza-3 avec une concentration 10 fois supérieure à celle observée en mars.
- L'absence de **Naphtalène et hydrocarbures aromatiques (fractions supérieures à C8)** au droit des 3 piézairs.

6. MISE A JOUR DU SCHÉMA CONCEPTUEL ET EVALUATION QUALITATIVE DES RISQUES POUR LE PROJET D'AMENAGEMENT

6.1. GENERALITES SUR L'EVALUATION DES RISQUES DANS LE CADRE D'UN PLAN DE GESTION

La démarche de plan de gestion conduit à agir aussi bien sur l'état du site et des milieux que sur les usages du site. A l'issue de la définition des scénarios de gestion, les possibilités d'exposition des personnes aux pollutions résiduelles sont identifiées au regard :

- Des concentrations susceptibles d'être atteintes après mise en œuvre des techniques de dépollution ;
- Des mesures constructives inhérentes à toute construction et le cas échéant, des mesures constructives spécifiques au projet.

Lorsque les voies de transfert ne peuvent pas être toutes désactivées, et que des expositions potentielles aux polluants subsistent, alors l'acceptabilité sanitaire des expositions aux pollutions résiduelles doit être vérifiée par une évaluation quantitative des risques sanitaires dénommée « analyse des risques résiduels » (ARR).

La mise au point du plan de gestion est basée sur un processus progressif et itératif, dont l'évaluation des risques sanitaires constitue l'un des outils ; cette évaluation s'amorce de manière qualitative lors de l'élaboration du schéma conceptuel du site et peut être poursuivie par une évaluation quantitative des risques sanitaires à différents stades de l'étude et de la réhabilitation du site concerné. L'ARR peut être réalisée :

- Soit avant la mise en œuvre de la solution de gestion retenue : il s'agit alors d'une ARR prédictive, comme présentement. Son déroulement s'appuie sur les données mesurées sur site ou extrapolées dans le cadre de la définition des scénarios de gestion ;
- Soit après les travaux de réhabilitation.

Cette quantification permet de positionner le risque sanitaire par rapport aux critères d'acceptation usuellement retenus au niveau international par les organismes en charge de la santé, et adoptés par la réglementation française en vigueur.

6.2. SCHEMA CONCEPTUEL

6.2.1. Principes du schéma conceptuel

Le schéma conceptuel vise à établir un bilan factuel de l'état des milieux du site, en vue d'appréhender les relations entre les sources de danger, les voies de transfert et les cibles.

Il permet d'évaluer de façon qualitative le risque sanitaire et/ou environnemental résultat du triptyque précédemment détaillé (source de danger / voies de transfert / cibles potentielles).

6.2.2. Présentation du schéma conceptuel

Conformément à la méthodologie en vigueur, le schéma conceptuel du site doit permettre de préciser les relations entre :

- les sources de danger ;
- les voies de transfert ;
- les récepteurs potentiels.

Le schéma conceptuel permet également d'évaluer l'existence d'un enjeu sanitaire et/ou environnemental résultant du triptyque « source de danger / voies de transfert / les récepteurs potentiels ».

Sur la base des données disponibles et de l'usage projeté comme « démonstrateur environnemental » intégrant la présence de public avec la création d'un espace de visite, pédagogique et de détente dans un cadre naturel, ARTELIA a identifié des enjeux sanitaires / environnementaux comme indiqué dans le tableau suivant.

Tableau 18 – schéma conceptuel pour un usage de « démonstrateur » accueillant du public

SOURCE	MILIEU DE TRANSFERT	VOIES D'EXPOSITION	EXISTENCE D'UN ENJEU SANITAIRE / ENVIRONNEMENTAL
Qualité des remblais au droit du site : Métaux (As, Cd, Cr, Cu, Ni et Zn). Teneurs significatives dans les remblais de surface (jusqu'à environ 2 m de profondeur) et ponctuellement dans les marnes.	Sol	Contact cutané, ingestion et inhalation de poussières de sols	NON Le projet intègre déjà la gestion des pollutions diffuses dans les remblais par : • Stabilisation voire phytoextraction des métaux dans les déblais générés par le projet • Couverture végétale évitant le contact direct et l'envol de poussières • Maîtrise des accès des usagers
	Eaux souterraines et superficielles	Usage des eaux souterraines (AEP, AEI, agricole, puits privé, baignade, pêche, ...)	NON Aucun usage des eaux souterraines au droit du site.
	Air du sol et air ambiant	Inhalation de substances volatiles	NON Substances peu volatiles et milieu extérieur.
Hydrocarbures : Teneurs significatives en HAP en P15-1, P15-3, P100 et S17. Présence d'hydrocarbures C10-C40 au droit du sondage S18.	Sol	Contact cutané, ingestion et inhalation de poussières de sols	OUI Présence de concentrations en HAP considérées comme des zones sources concentrées devant faire l'objet d'un traitement
	Eaux souterraines et superficielles	Usage des eaux souterraines (AEP, AEI, agricole, puits privé, baignade, pêche, ...)	NON Aucun usage des eaux souterraines au droit du site.
	Air du sol et air ambiant	Inhalation de substances volatiles	OUI Substances volatiles, milieu extérieur

6.2.3. Conclusions sur le schéma conceptuel et suites à donner

Le schéma conceptuel met ainsi en évidence que les hydrocarbures présents dans les sols et gaz du sol du site peuvent entraîner des risques pour la santé des futurs usagers du site par l'inhalation de substances volatiles. La présente évaluation qualitative des risques nécessite d'être affinée et les risques sanitaires quantifiés via une Analyse des Risques Résiduels (ARR) pour l'inhalation de volatils en milieux extérieur.

Cette ARR est présentée au sein du chapitre suivant. Il s'agit, à partir de la caractérisation actuelle des milieux, d'évaluer le risque sanitaire lié à l'exposition des futurs usagers par inhalation de substances volatiles présentes à des teneurs résiduelles postérieurement aux travaux de traitement des sources concentrées et de terrassement qui seront engagés, et dégazant depuis le sous-sol vers l'air ambiant extérieur.

7. ANALYSE DES RISQUES RESIDUELS PREDICTIVE

7.1. METHODOLOGIE DE L'ARR PREDICTIVE

Dans le cas de la présente démarche de plan de gestion, l'ARR est menée préalablement à la réalisation des travaux de dépollution. Elle s'appuie sur :

- Les données disponibles, notamment au niveau des 3 piézaires répartis sur la zone d'étude ;
- Considérant les mesures de gestion prévues d'être prises, notamment la dépollution du point chaud caractérisé par les sondages P15, P100 et S17 ;

- Le projet de réaménagement du site : espace public aménagée pour un usage destiné à la promenade, aux loisirs et à la pédagogie des utilisateurs ;
- Le schéma conceptuel présenté ci-avant met en évidence l'existence d'exposition potentielle des futurs usagers aux pollutions volatiles résiduelles auxquelles ils seraient exposés par la voie inhalation.

7.2. ANALYSES DES RISQUES RESIDUELS PREDICTIVE

Des investigations dans les gaz du sol ont été réalisées (cf. chapitre 5 ci-avant) afin d'approfondir l'évaluation des enjeux sanitaires notamment afin de quantifier le degré de dégazage après traitement des sources sol.

Afin d'interpréter les résultats de gaz du sol obtenus, et dans une approche majorante, une comparaison des concentrations obtenues est effectuée d'abord avec les VGAI (Valeurs Guides pour l'Air Intérieur) existantes, puis les VTR (Valeurs Toxicologiques de Référence) en l'absence de VGAI, sans application de facteur de dilution.

Issue de la démarche de diagnostics des sols dans les lieux accueillant les enfants et les adolescents, 3 seuils (R1, R2 et R3) ont été définis et constituent des valeurs d'analyse de la situation. Ces seuils sont les suivants :

- R1 correspond aux valeurs de gestion qui sont par ordre de priorité, les valeurs réglementaires disponibles, les valeurs cibles ou repères du HCSP, les valeurs guides de qualité d'air intérieur (VGAI) de l'ANSES et, à défaut, les VTR ramenées en concentration d'exposition ;
- R2 correspond dans la plupart des cas aux valeurs réglementaires ou aux seuils d'action définis par le HCSP. Dans les autres cas, les valeurs retenues sont définies dans la note de l'INERIS du 2 février 2016 ;
- R3 correspond aux valeurs telles que définies dans la note de l'INERIS. Il s'agit de VTR aiguës disponibles pour les expositions sur une courte période et en aucun cas des VTR aiguës pour la gestion des risques accidentels.

Les concentrations ont été comparées aux seuils R1, R2 et R3 (cf. tableau ci-après). Le tableau suivant détermine des mesures de gestion graduées sur la base de ces concentrations.

Tableau 19 – Qualité de l'air intérieur estimée à partir des gaz du sol (source : Guide méthodologique de gestion des SSP)

Interprétation sur critères toxicologiques	Pondération selon les données de bruit de Fond	Actions complémentaires à engager pour ce polluant
$C_{\text{pst}} < R_1$		La présence de ce polluant ne pose pas de problème (cf. § 2.4.2.d). Le processus se poursuit suivant les dispositions du § 2.5.1.
$R_1 \leq C_{\text{est}} < R_2$	$< \text{OQAI}_{\text{p90}}$ ou autres	La qualité de l'air pour ce polluant est inférieure ou comparable à celle mesurée dans 90% des logements français par l'OQAI (ou d'autres bases). En fonction des résultats obtenus sur les autres polluants, la pertinence d'un contrôle de la qualité de l'air intérieur est à examiner. Le processus se poursuit suivant les dispositions du § 2.5.1 ou du § 2.4.7.b si un contrôle de la qualité de l'air intérieur est réalisé.
	$\geq \text{OQAI}_{\text{p90}}$ ou autres	La qualité de l'air intérieur doit être contrôlée. Si seul ce polluant conduit à ce contrôle, le contrôle de la qualité de l'air peut se limiter à ce seul polluant ou à la famille de composés à laquelle appartient le polluant. Le processus se poursuit suivant les dispositions du § 2.4.7.b.
$R_2 \leq C_{\text{est}} < R_3$		La qualité de l'air intérieur doit être contrôlée. Dans l'attente des résultats des contrôles, l'aération des locaux concernés (vérification du bon fonctionnement de la ventilation, aération ouverture des fenêtres...) est recommandée. Le processus se poursuit suivant les dispositions du § 2.4.7.b.
$C_{\text{est}} \geq R_3$		La qualité de l'air intérieur doit être contrôlée. Dans l'attente des résultats des contrôles, il est recommandé d'améliorer l'aération des locaux concernés (vérification du bon fonctionnement de la ventilation, aération ouverture des fenêtres...). Des mesures telles que l'éloignement des occupants ou l'inutilisation des locaux concernés sont à considérer lorsque des contrôles ont été réalisés sur l'air intérieur et ne sont pas pertinentes lorsque la qualité de l'air intérieur est estimée à partir des gaz du sol. Le processus se poursuit suivant les dispositions du § 2.4.7.b.

								Echantillons prélevés le 11/03/2022 (mg/m3)				Echantillons prélevés le 03/08/2022 (mg/m3)				Valeurs guides de BRUIT DE FOND (Air INTERIEUR)		
Substances recherchées		N°CAS	LQ (µgtube)	LQ (mg/m³) - Mars 2022			LQ (mg/m³) - Août 2022	Pza-1	Pza-2	Pza-3	Blanc	Pza-1	Pza-2	Pza-3	Blanc	Valeurs d'analyse de la situation (Méthodologie Nationale Gestion SSP, Avril 2017) (mg/m3)		
				Pza-1	Pza-2	Pza-3	Pza-1 à Pza-3									R1	R2	R3
CAV - BTEX	Benzène		0,05	0,0016	0,0015	0,0014	0,0016	<	<	<	<	<	<	<	<	0,002 (VGAI ANSES 2011)	0,01 (HCSP 2010)	0,03 (VGAI Court terme (AFSSET, 2008))
	Ethylbenzène		0,1	0,0031	0,0030	0,0029	0,0032	<	0,006	<	<	0,008	0,011	0,009	<	1,5 (VGAI ANSES 2016)	15 (10 x VGAI long terme (ANSES, 2016))	22 (VGAI court terme (ANSES, 2016))
	Toluène		0,2	0,0063	0,0061	0,0057	0,0064	<	0,003	<	<	0,004	0,005	0,004	<	20 (VTR ANSES 2017)	21 (VTR aiguë ANSES 2017)	21 (= R2)
	m, p -Xylène		0,1	0,0031	0,0030	0,0029	0,0032	0,009	0,016	0,005	<	0,016	0,022	0,019	<			
	o-Xylène		0,05	0,0016	0,0015	0,0014	0,0016	0,004	0,006	0,002	<	0,007	0,010	0,009	<			
	Xylènes (o, m et p)		0,1	0,0031	0,0030	0,0029	0,0032	0,013	0,022	0,007	<	0,023	0,032	0,028	<	0,1 (VTR ANSES 2020)	1 (10 x VTR ANSES 2020)	8,8 (VTR aigue ATSDR, 2007)
HC aliphatiques	>C5-C6		2,5	0,0784	0,0760	0,0716	0,0796	<	<	<		<	<	<		18,4 (VTR TPHCWG 1999)	184 (10 fois R1)	nd
	>C6-C8		2,5	0,0784	0,0760	0,0716	0,0796	<	<	<		<	<	<		18,4 (VTR TPHCWG 1999)	184 (10 fois R1)	nd
	>C8-C10		2,5	0,0784	0,0760	0,0716	0,0796	0,110	0,228	<		0,080	0,104	<		1 (VTR TPHCWG 1999)	10 (10 fois R1)	nd
	>C10-C12		2,5	0,0784	0,0760	0,0716	0,0796	0,313	0,419	0,084		0,350	0,404	0,379		1 (VTR TPHCWG 1999)	10 (10 fois R1)	nd
	>C12-C16		2,5	0,0784	0,0760	0,0716	0,0796	0,202	0,219	<		0,876	0,589	0,513		1 (VTR TPHCWG 1999)	10 (10 fois R1)	nd
	Total Aliphatiques		2,5	0,0784	0,0760	0,0716	0,0796	0,624	0,866	0,084		1,306	1,099	0,892				
HC aromatiques	>C8-C10		2,5	0,0784	0,0760	0,0716	0,0796	<	<	<		<	<	<		0,2 (VTR TPHCWG 1999)	2 (10 fois R1)	nd
	>C10-C12		2,5	0,0784	0,0760	0,0716	0,0796	<	<	<		<	<	<		0,2 (VTR TPHCWG 1999)	2 (10 fois R1)	nd
	>C12-C16		2,5	0,0784	0,0760	0,0716	0,0796	<	<	<		<	<	<		0,2 (VTR TPHCWG 1999)	2 (10 fois R1)	nd
HCT volatils	>C5-C8		5	0,1567	0,1520	0,1433	0,1592				<				<			
	> C8 - C10		5	0,1567	0,1520	0,1433	0,1592				<				<			
	> C10 - C12		5	0,1567	0,1520	0,1433	0,1592				<				<			
	HCT C5-C12		5	0,1567	0,1520	0,1433	0,1592				<				<			
HAP	Naphtalène	91-20-3	0,1	0,0031	0,0030	0,0029	0,0032	<	<	<	<	<	<	<	<	0,01 (Valeur repère HCSP 2012)	0,05 (Valeur d'action rapide HCSP 2012)	nd
< : inférieur à la limite de quantification (LQ)																		

L’ensemble des teneurs relevées dans les gaz du sol, sans application de facteur de dilution (transfert des gaz du sol vers l’air extérieur / brassage par le vent), est inférieur aux seuils de comparaison R1 : la présence de teneurs résiduelles ne pose pas de problème sanitaire.

Le schéma conceptuel prévisionnel après travaux montre que les voies d’exposition sont supprimées (ingestion de poussière) ou acceptables (inhalation de composés volatils en extérieur).

8. PRESENTATION DE LA DEMARCHE ENVIRONNEMENTALE ET OBJECTIFS DU PLAN DE GESTION

8.1. LA DEMARCHE ENVIRONNEMENTALE APPLIQUEE AUX SITES ET SOLS POLLUES

La gestion de la problématique Sites et Sols Pollués passe par l'application de la méthodologie nationale définie par les textes du 8 février 2007, mis à jour par la note ministérielle du 19 avril 2017, dans le cadre de projets de réaménagement. Les principes de base de la démarche développée par la méthodologie nationale consistent à :

- Prévenir les pollutions futures,
- Connaître, surveiller et maîtriser les impacts,
- Mettre en sécurité le site,
- Traiter et réhabiliter en fonction de l'usage puis pérenniser ce dernier,
- Garder la mémoire du site,
- Impliquer l'ensemble des acteurs.

La stratégie appliquée pour la réhabilitation du site KLEBER à ESSEY-LES-NANCY pour la gestion de la problématique Sites et Sols Pollués a été répartie en trois phases :

- ✓ **Une première phase de diagnostic (Phase 1)** a permis, à partir des investigations menées en 2013 par SITA REMEDIATION, puis en 2015 et 2022 par ARTELIA :
 - D'identifier les zones potentiellement polluées en fonction des activités exercées sur le site ;
 - De dresser l'état du sous-sol :
 - Identification des sources de pollutions manifestes ou diffuses ;
 - Caractérisation de la qualité des remblais superficiels du site et des déblais qui seront générés par les aménagements,
- ✓ **La présente phase (Phase 2) de Plan de Gestion (PG) et d'Analyse des Risques Résiduels (ARR) prédictive** est principalement fondée sur les données issues de l'état environnemental diagnostiqué lors de la phase 1 et sur les projets d'usages futurs du site tel que retenu lors de l'étude. Cette phase est consolidée par le présent document.

La troisième phase (Phase 3) consistera à mettre en application les mesures de gestion lors des travaux de dépollution / réaménagement du site.

8.2. LES MESURES DE GESTION

Les mesures de gestion servent à passer d'un constat de pollution à un terrain réhabilité en fonction des usages envisagés. La stratégie des mesures de gestion se conçoit ainsi comme suit :

- Maîtrise de la source de pollution :
 - Travaux de réhabilitation (enlèvement total ou partiel de la source),
 - Confinement,
- Limitation du transfert :
 - Dans les sols, les gaz des sols, les eaux souterraines et superficielles,
 - Au niveau des aménagements futurs,

- Modification des aménagements :
 - Changement des usages (sur et hors site),
 - Changement de l'aménagement du site (couverture...),
 - Contrôle des activités.

Pour se faire, les mesures de gestion se basent généralement sur les éléments suivants :

- Les performances intrinsèques des techniques de traitement (traitement in-situ, sur site, hors site),
- Les mesures de confinement,
- La prise en compte des mécanismes naturels de biodégradation,
- La prise en compte des propriétés physico-chimiques des substances et de l'environnement,
- Une Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS) en cas d'identification de voies d'exposition et de risques sanitaires,
- En cas de pollution résiduelle, la réalisation de l'Analyse des Risques Résiduels (ARR),
- Le plan de surveillance,
- Le bilan coûts/avantages.

8.3. OPTIONS DE REHABILITATION

Sur la base des spécificités du site, plusieurs options de réhabilitation sont envisagées, telles que :

- **Traiter les sources de pollutions** de façon définitive, lorsque les expositions résiduelles aux polluants subsistent, et s'exonérer dans ce cas de restrictions d'usage particulières,
- **Confiner**, temporairement ou définitivement, **les sources** à l'origine des impacts et des risques, en organisant la conservation en mémoire des données,
- **Eloigner les cibles susceptibles d'être atteintes** (ex : évacuer un site), ou **les supprimer** (ex : fermer un captage d'alimentation en eau potable),
- **Surveiller** un site, sur lesquels les **processus d'atténuation naturelle** ont été mis en évidence, afin de contrôler leur efficacité et leur pérennité dans le temps, induisant ainsi une dégradation des substances dangereuses et une diminution des risques associés,
- **Désactiver une voie d'exposition** en mettant en place des servitudes / restrictions d'usage.

Quelle que soit la ou les techniques retenues, il convient de pouvoir apporter la preuve de son efficacité réelle dans les conditions rencontrées sur le site à réhabiliter, ce qui suppose :

- La production d'études préliminaires afin de comparer les différentes options,
- Un contrôle des conditions de mise en œuvre sur le site,
- Un contrôle de l'efficacité de la réhabilitation sur site, en termes de respects des objectifs de réhabilitation déterminés pour un usage donné.

La sélection de la ou des techniques de réhabilitation envisageables doit s'effectuer parmi des techniques à jour et efficace d'un point de vue :

- Performances techniques,
- Coûts économiques correspondants,
- Points forts et points faibles des techniques (consommation énergétique, production de déchets, nuisances générées, rejets liquides et gazeux...).

Le choix de la technique de dépollution doit aussi être guidé par l'étude d'impact sur les milieux. Certaines solutions de réhabilitation ne sont donc pas exclusives l'une de l'autre. Ainsi, dans le cas où une solution de confinement a été finalement retenue, la mise en place de celle-ci pourra s'accompagner d'une surveillance de l'efficacité sur le long terme de ce confinement, en particulier vis-à-vis des ressources en eau susceptibles d'être impactées.

Parmi la liste des techniques, on choisira la filière de réhabilitation qui intègre au mieux les contraintes liées au site lui-même, et par ailleurs à tout projet d'aménagement, telles que :

- Les objectifs de réhabilitation qui sont traditionnellement des critères numériques spécifiques (par substance ou famille de substances) en un point donné, correspondant à des niveaux de risques acceptables pour les cibles prises en considération,
- Les conditions du site et leurs variations spatio-temporelles (notamment la géologie, la vitesse de transfert et les conditions physico-chimiques prévalant dans les eaux souterraines, les caractéristiques des polluants),
- La faisabilité d'application des techniques aux conditions locales,
- Le coût de mise en œuvre des techniques (comprenant les coûts d'implantation et maintenance, les possibles subventions et compensations), leurs conditions de mise en œuvre qui ne doivent pas engendrer plus de risques et de nuisances que celles existantes du fait de la pollution,
- Des critères psychosociologiques (le plus souvent liés à une notion de confort visuel, sonore voire olfactif),
- D'autres contingences (parfois rédhibitoires pour le choix de la solution) telles que le temps disponible pour le traitement, temps pouvant être réduit du fait d'une éventuelle vente du site.

La comparaison entre les différentes techniques peut si besoin reposer sur une analyse multicritère et synthétique, dénommée **bilan coûts / avantages**.

9. IDENTIFICATION DES DIFFERENTES OPTIONS DE GESTION POSSIBLES ET BILAN COUTS / AVANTAGES (A330)

Les différentes études réalisées depuis 2013 ont mis en évidence plusieurs sources de pollution au droit du site d'étude. La méthodologie nationale en matière de Sites et Sols Pollués préconise de réaliser en tout premier lieu, l'évaluation des possibilités de suppression des pollutions et la recherche de leurs impacts. « *Ainsi, lorsque des pollutions concentrées sont identifiées, la priorité consiste d'abord à déterminer les modalités de suppression des pollutions concentrées, plutôt que d'engager des études pour justifier leur maintien en l'état, en s'appuyant sur la qualité déjà dégradée des milieux ou sur l'absence d'usage de la nappe. Il est cependant nécessaire, quand la suppression des pollutions n'est pas possible, à l'issue d'une démarche d'établissement d'un bilan « coûts – avantages », de garantir que les impacts provenant des pollutions résiduelles sont maîtrisés et acceptables tant pour les populations que pour l'environnement.* » (Réf. Méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués – MEEM – avril 2017).

Le présent bilan coûts/avantages est basé sur les données issues de l'état environnemental, caractérisé précédemment. Cette démarche a pour objectifs d'évaluer les modes de gestion envisageables pour le traitement des sources concentrées résiduelles.

9.1. RAPPEL DES OBJECTIFS NATIONAUX DE GESTION ENVIRONNEMENTALE

Conformément à la méthodologie ministérielle en matière de gestion des sites et sols pollués révisée en date d'avril 2017, la bonne gestion environnementale du projet doit prévoir de gérer les trois problématiques suivantes :

➤ **Maîtrise des sources de pollution sur le périmètre du projet d'aménagement :**

D'après la méthodologie ministérielle en matière de sites et sols pollués datant d'avril 2017, toute zone source de pollution concentrée doit être dépolluée ou maîtrisée quel que soit l'usage de la zone.

➤ **Maitrise des enjeux sanitaires et environnementaux :**

Sur la base des mêmes textes que ci-dessus, les usages envisagés dans le cadre du projet doivent être assurément compatibles avec la qualité du sous-sol.

➤ **Gestion des déblais lors du chantier :**

Conformément à la réglementation, les futurs déblais de chantier qui seront évacués hors site revêtiront le statut de déchets et devront être dirigés à ce titre vers des filières adaptées et leur traçabilité assurée s'ils sortent du site.

9.2. DELIMITATION DES SOURCES DE POLLUTION CONCENTREES

En préambule, il est important de rappeler que la zone étudiée dans le cadre des investigations complémentaires couvrait une surface de 2ha sur les 8 couvrant l'ensemble de la « Coulée Verte ».

Les investigations complémentaires réalisées par ARTELIA ont permis de dresser plusieurs constats :

- De confirmer la présence ponctuelle de remblais présentant des teneurs en HAP bien supérieures au bruit de fond du site ;
- La délimitation de l'extension des sources de pollution concentrée en HAP nécessitera d'être actualisée en phase chantier ;
- Les fortes teneurs en hydrocarbures étant reliées à la mauvaise qualité des remblais, il est difficile de prédire la localisation des zones impactées. Il sera nécessaire de recaractériser la qualité des matériaux lors de la phase chantier d'aménagement.

Dans le cadre de la réalisation du Plan de Conception des Travaux (PCT) visant à valider les techniques de traitement envisagées dans le Plan de Gestion (étape 3 de la présente étude), de nouvelles investigations ont été réalisées : 3 prélèvements sur la tranche de sol 0-1m (P1, P2 et P9) et 6 prélèvements sur la tranche de sol 1-2m (P3 à P8), ciblés au droit de zones impactées en composés organiques et de zones impactées en composés inorganiques. Ces investigations, réalisées en mai 2023 par ARTELIA à l'aide d'une pelle mécanique, et dont les résultats ont été intégrés à l'étude de délimitation des sources concentrées, n'ont pas fait apparaître de résultats représentatifs d'un impact, y compris pour les HAP, contrairement aux résultats des précédents diagnostics.

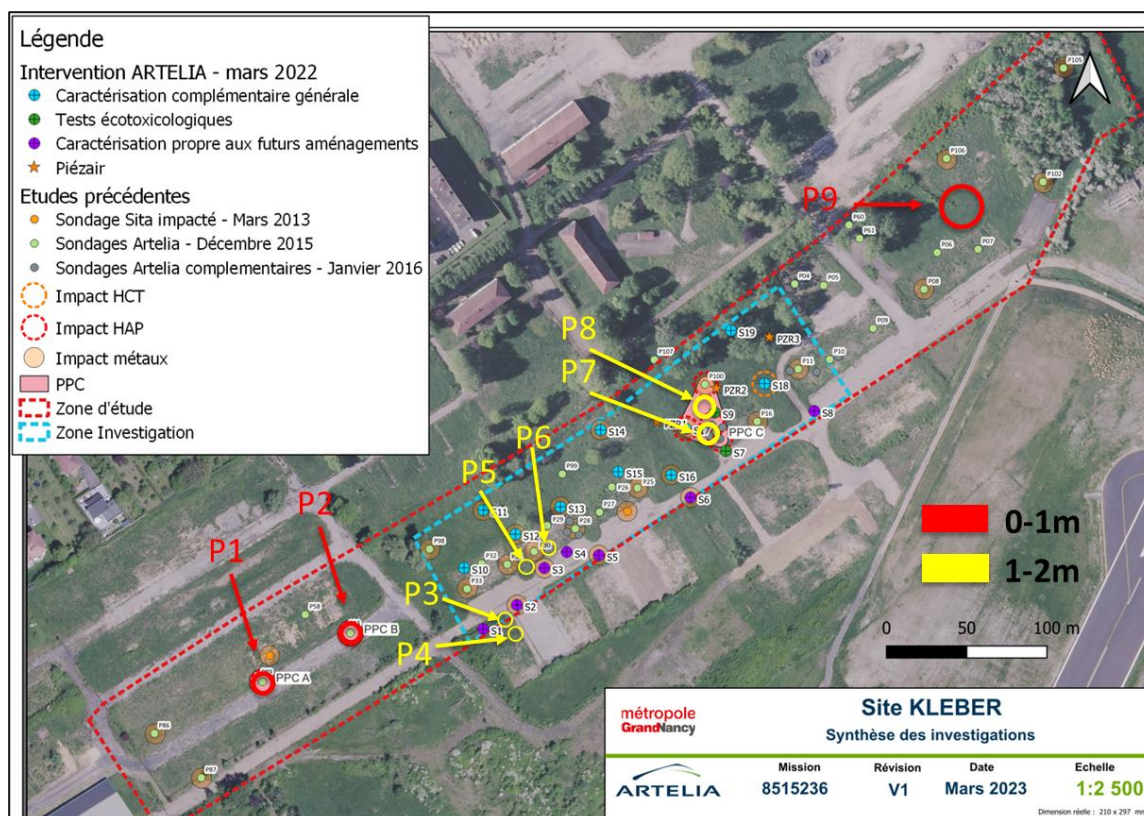


Figure 10 – Localisation des prélèvements réalisés dans le cadre du PCT

L'Union des Professionnels de la Dépollution des Sites (UPDS) a établi en avril 2016 une définition de la pollution concentrée, reprise dans les textes ministériels d'avril 2017 : « **volume de milieu souterrain à traiter, délimité dans l'espace, au sein duquel les concentrations en une ou plusieurs substances sont significativement supérieures aux concentrations de ces mêmes substances à proximité immédiate de ce volume.** »

L'UPDS propose différentes méthodes d'interprétation des données de terrain et de laboratoire permettant de caractériser et d'identifier une pollution concentrée et propose de recouper plusieurs méthodes afin de valider la définition du seuil de coupure pour la définition d'une pollution concentrée. Deux de ces méthodes sont étudiées ici :

- Méthode basée sur l'analyse statistique des données ;
- Méthode basée sur l'interprétation cartographique.

9.2.1. Méthode basée sur l'analyse statistique des données

Conformément aux données des études antérieures, confirmées par le diagnostic de 2022, les substances étudiées et retenues pour l'analyse statistique sont les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP), les impacts en éléments traces métalliques totaux étant considéré comme diffus, généralisés à l'ensemble des remblais.

L'ensemble des données de sondages menés sur la zone d'étude a été exploité pour réaliser l'étude.

Les calculs statistiques sont réalisés à partir des concentrations en HAP dans les sols et mesurées sur 73 échantillons de sols prélevés sur 73 sondages :

Tableau 21 – Calculs statistiques de base sur une distribution de concentrations en HAP dans les sols (mg/kg)

	Teneur (mg/kg MS)
Concentration moyenne	18
Concentration max	142
Médiane	3
percentile 25	0,2
percentile 75	20
percentile 90	50
percentile 95	109

Le tableau ci-avant permet de mettre en évidence que :

- 90% des concentrations en HAP sont inférieures ou égales à 50 mg/kg, équivalent au seuil de classification en tant que déchet inerte ;
- 95% des concentrations en HAP sont inférieures ou égales à 110 mg/kg ;
- Sur les 73 échantillons étudiés, 3 (5%) présentent des teneurs entre 110 mg/kg M.S et 142 mg/kg MS.

La représentation graphique de répartition des fréquences cumulées permet ensuite de déterminer des seuils de coupure.

La figure ci-après fait apparaître 3 seuils de coupure, le premier à 25 mg/kg, inférieur au seuil déchet inerte, le second proche de 60 mg/kg, et le troisième à 90 mg/kg.

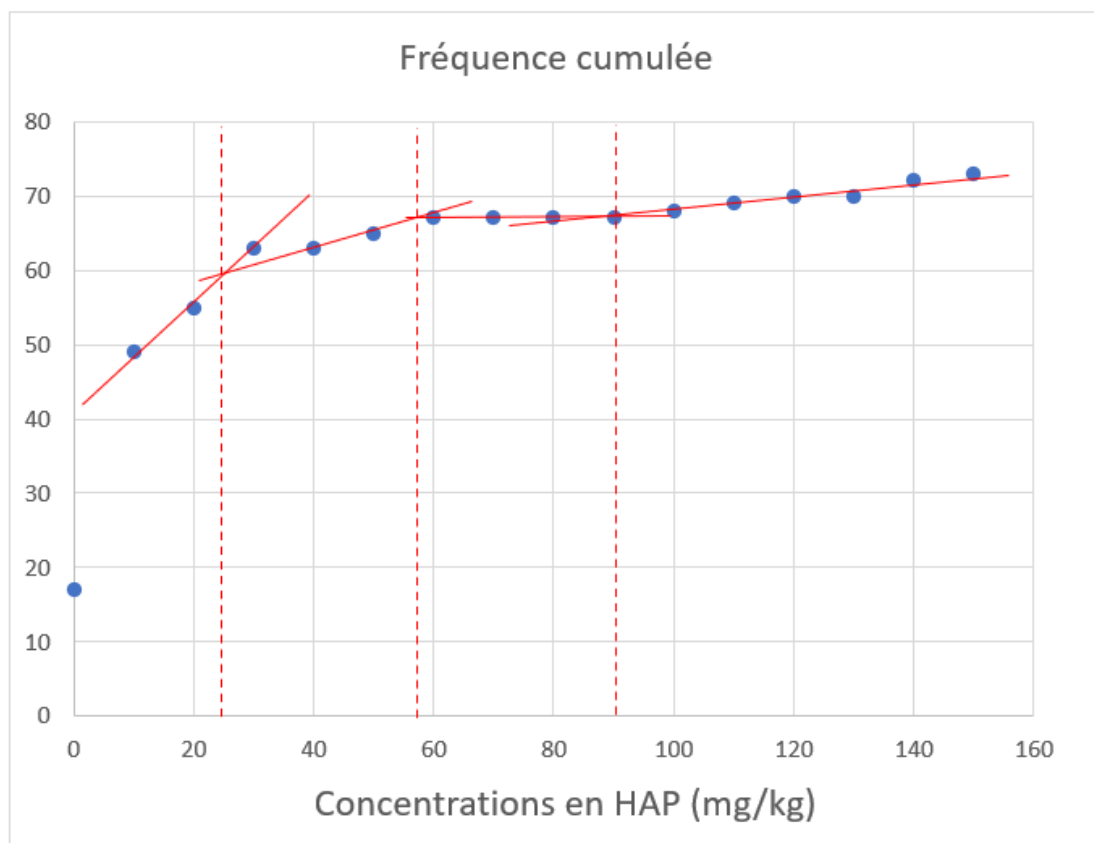


Figure 11 – Fréquences cumulées des concentrations en HAP (mg/kg) – intervalle 20 mg/kg

Un graphique de répartition des concentrations a également été réalisé :

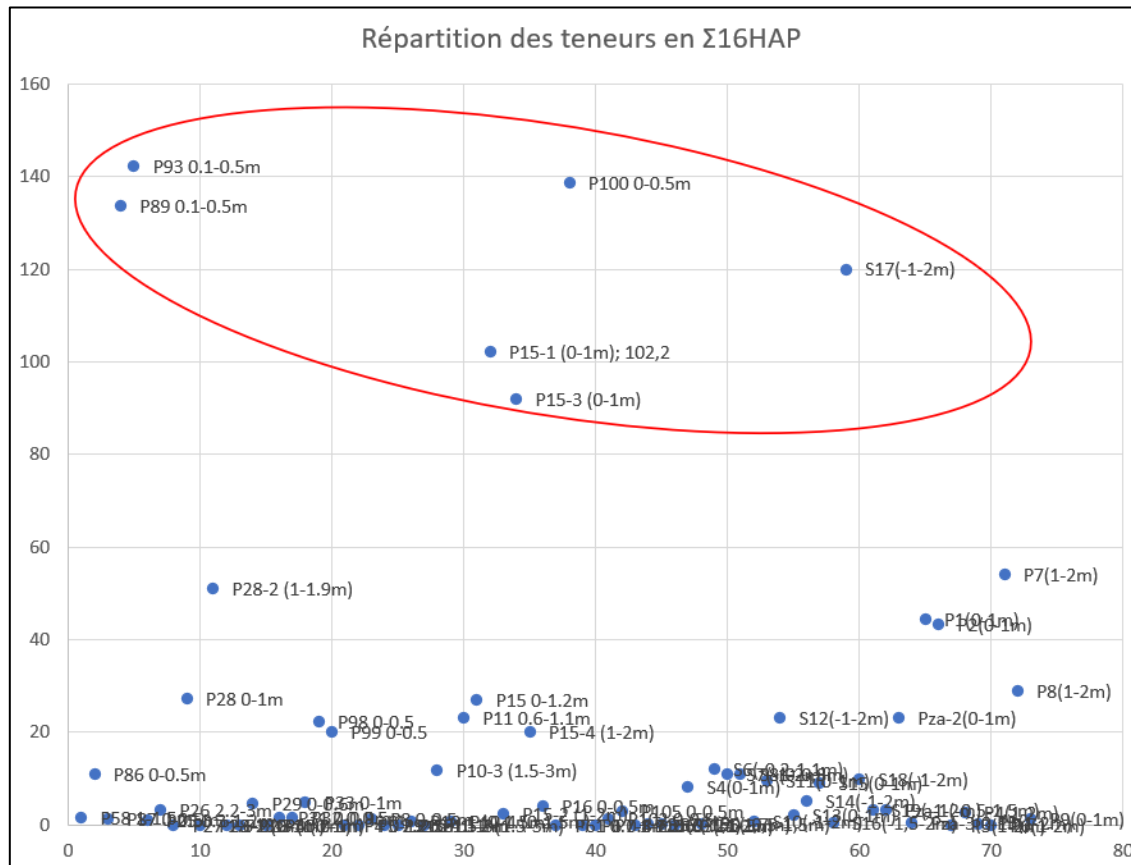


Figure 12 – Répartition des concentrations en HAP (mg/kg)

La figure ci-avant fait apparaître un pool d'échantillons entre 0 et 20 mg/kg, qui serait assimilable au bruit de fond du site, et à quelques points isolés au-delà de 90mg/kg.

→ Sur la base de cette analyse statistique, une valeur limite de définition de la pollution concentrée en HAP dans les sols du secteur concerné pourrait être proposée à 90 mg/kg. On pourrait aussi proposer une interprétation sur trois populations : 0-20 ppm représentant le bruit de fond du site, 20-80 ppm représentant la pollution diffuse et > 90 ppm, la pollution concentrée.

9.2.2. Méthode basée sur l'interprétation cartographique

Le seuil de coupure défini par méthode statistique est à confirmer en le croisant avec les résultats d'une autre méthode de détermination de la pollution concentrée. Une analyse cartographique permet de localiser les échantillons concentrés, et préciser s'il s'agit d'une ou de plusieurs pollutions concentrées.

La Figure ci-dessous présente l'étendue des impacts en HAP, celles-ci mettent en évidence les éléments suivants :

- La zone d'impact « PPC C », initialement envisagée comme étant une zone englobant les impacts P100, P15 et S17 semble, suite aux investigations complémentaires du PCT, scindée en 2 secteurs : P100 d'un côté, avec une teneur de 140 mg/kg, et les sondages P15-1, P15-3 et S17 (teneurs entre 92 et 139 mg/kg) de l'autre ;
- Les PPC A et PPC B sont chacune liées à 1 sondage, et nécessiteront d'être délimitées plus finement.

Sur la base des données disponibles, les sources de pollution concentrée considérées par ARTELIA correspondent aux sols impactés par les HAP et dont la délimitation est précisée sur la figure ci-après.

Le détail des zones sources de pollution concentrées est présenté ci-après :

Tableau 22 : Estimations des volumes de sols à traiter

PPC	Aire (m²)	Profondeur (m)	Volume (m³)
PPC A	200	2	400
PPC B	200	2	400
PPC C-2 (P100) (1,2 m de profondeur)	125	1,2	150
PPC-C-1 (P15) (1,2 m de profondeur)	242	1,2	290,4
PPC C -1 (S17) (2m de profondeur)	242	2	484
PPC C TOTAL	609		924,4
TOTAL	1009		1700 - 1750

Le volume de sol à traiter est ainsi estimé à environ 1 750 m³.

Au regard des incertitudes demeurant sur la présence de source de pollution concentrée sur la zone d'étude (zones non investiguées, disparité du maillage), ARTELIA propose d'appliquer un ratio pour estimer la probabilité de découverte de nouvelle zone source concentrée lors des travaux d'aménagement. Les données de qualité de 64 sondages ont été exploitées pour aboutir à une hypothèse de 8 à 9% des volumes générés par les terrassements du projet (non définis à ce stade) pouvant être considérés comme des sources de pollution concentrée :

Nbre sondage étudié	73
Sondage source concentrée	6
Ratio	8,2%
Synthèse	8 à 9%

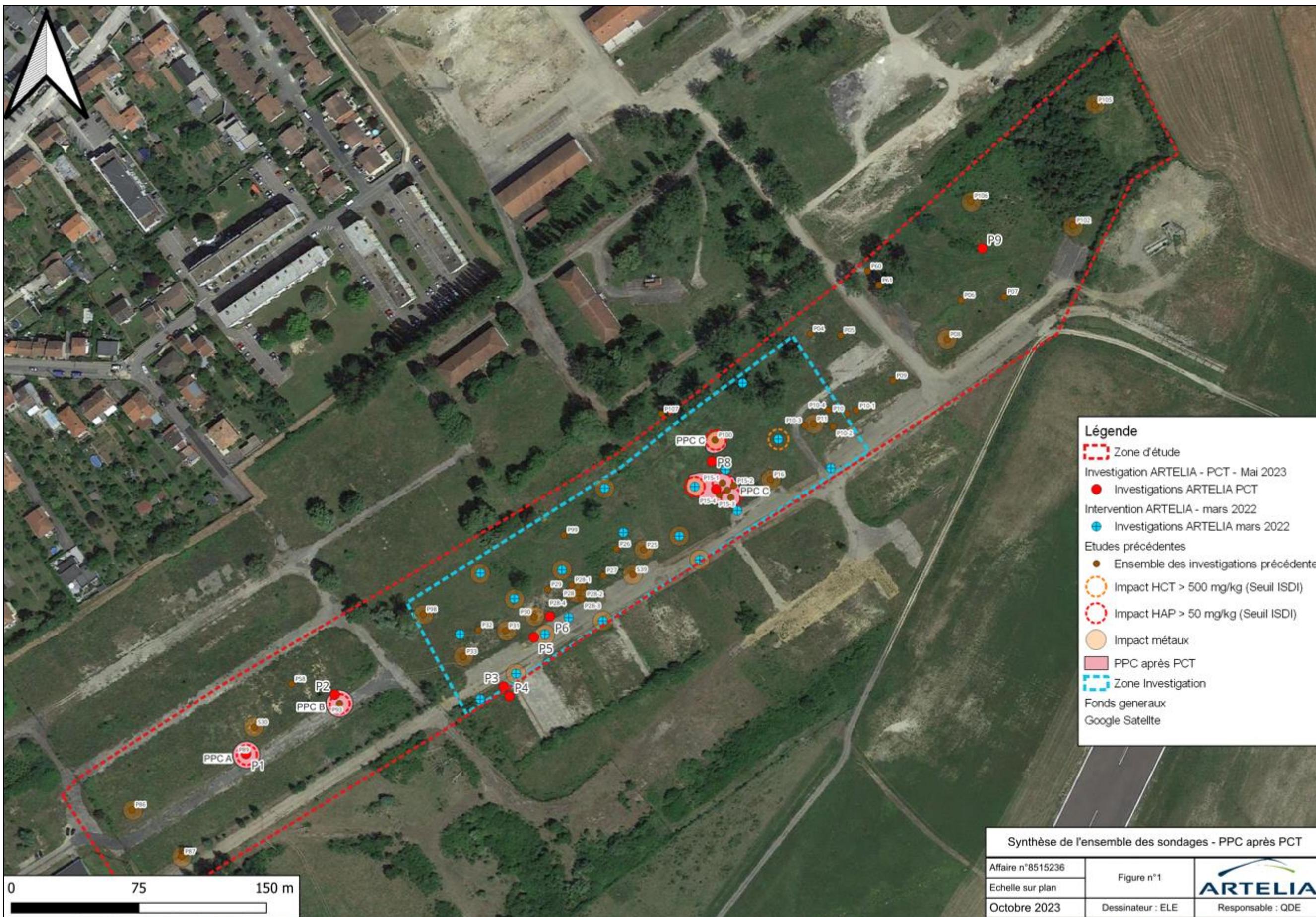


Figure 13 – Plan de localisation des zones de pollution concentrée en HAP

9.3. OBJECTIFS DE DEPOLLUTION

Dans le cadre de la requalification de l'ancienne caserne KLEBER en « démonstrateur environnemental » intégrant la présence de public avec la création d'un espace de visite, pédagogique et de détente dans un cadre naturel, la démarche de la Métropole du Grand-Nancy est le traitement des sources concentrées par des solutions basées sur la nature. Au stade de la présente étude, et en l'absence de risque sanitaire au droit du site, l'objectif de dépollution des sols a été fixé à 90 mg/kg en HAP. Par ailleurs et pour rappel, le traitement des pollutions doit se faire, conformément aux exigences de la maîtrise d'ouvrage et dans la mesure du possible, par des techniques alternatives à l'excavation et évacuation hors site des matériaux, fondées sur la nature. Les phytotechnologies sont à étudier.

Dans ce contexte les objectifs de dépollutions sont les suivants :

- Diminution de la masse de HAP dans le sous-sol au droit des 3 sources concentrées jusqu'à l'atteinte de teneurs résiduelles de l'ordre de 90 mg/kg ;
- Couper les voies d'exposition par contact direct avec des matériaux impactés.

9.4. PRESENTATION DES SOLUTIONS DE GESTION ENVISAGEABLES

Pour les sites pollués, plusieurs options de réhabilitation peuvent être envisagées selon les spécificités de la zone et les caractéristiques des pollutions, telles que :

- Extraire les zones sources à l'origine des impacts et des risques (ex. : excavation) ;
- Traiter les sources de pollution qui sont présentes dans les sols (in-situ, sur site ou hors site) ;
- Eloigner les cibles susceptibles d'être atteintes ou les supprimer (ex. : servitudes) ;
- Désactiver les voies de transfert et d'exposition (ex. : stockage par isolement).

Les techniques et filières de traitement des sols et des eaux souterraines ont été regroupées par famille et par type :

- Une famille de techniques ou filières regroupe les techniques et filières mettant en jeu un même type de phénomènes tels que les phénomènes physiques, biologiques ou chimiques.
- Un type de techniques ou filières regroupe les techniques et filières selon leur lieu de mise en œuvre (in-situ, sur site, hors site).

Ainsi, dans cette double classification on remarque que chaque type de procédé peut être employé dans différentes configurations de traitement. Les performances des différentes techniques de dépollution peuvent varier selon les substances, les conditions d'application, notamment la nature des sols, l'extension de la pollution, etc.

Le tableau et la figure présentées ci-après illustrent cette classification.

Tableau 23 : Classification des techniques de réhabilitation par famille et par type

Famille	Type
Techniques physiques : Techniques provoquant la modification d'un paramètre physique (pouvant entraîner un changement d'état). Elles consistent en une extraction des polluants présents. Il y a séparation physique de la "matrice" et des polluant.	Techniques in-situ (en place) : Ensemble de techniques désignant les opérations de traitement appliquées à l'endroit même de la pollution, sans aucune excavation de terre ni extraction d'eau.
Techniques thermiques : Techniques utilisant de la chaleur pour détruire les polluants (ex : incinération), les isoler (ex : désorption thermique, thermolyse, etc.), ou les rendre inertes (ex : vitrification, etc.).	Techniques sur site : Ensemble de techniques qui ont lieu sur le site même, après excavation de terre ou extraction d'eau.
Techniques chimiques ou électrochimiques : Techniques utilisant les propriétés chimiques des polluants pour les rendre inertes (précipitation, etc.), les détruire (oxydation, etc.) ou les séparer du milieu pollué (surfactants, etc.) à l'aide de réactions appropriées.	Techniques hors site (ou ex-situ) : Ensemble de techniques désignant les traitements qui ont lieu en dehors du site pollué, après excavation et transport des terres jusqu'à l'unité de traitement.
Techniques biologiques : Techniques utilisant l'action des micro-organismes (bactéries, champignons) pour éliminer les polluants organiques ou	Stockage par isolement (confinement) : Technique permettant d'isoler la source de pollution en empêchant ou limitant la migration de celle-ci.

Les familles de traitement des sols sont schématisées ci-dessous :

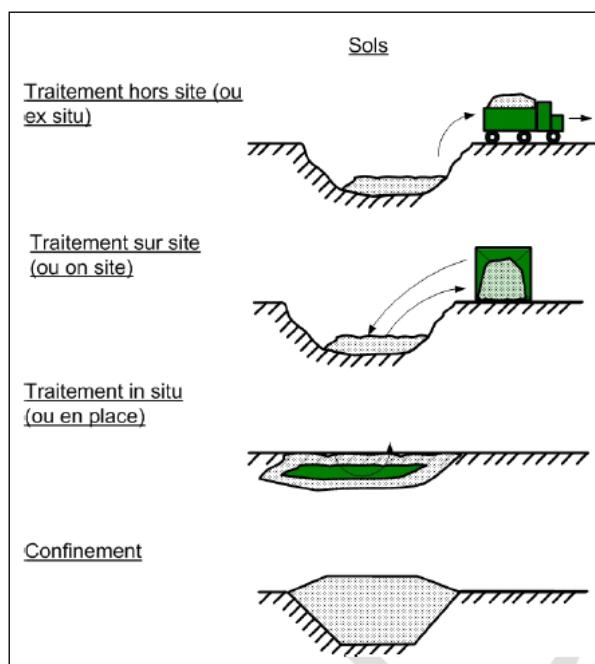


Figure 14 – Schéma des différents types de réhabilitation

Selon le milieu (eau, sol) et le type de polluant (organique ou inorganique), les techniques de réhabilitation adaptées diffèrent selon la matrice présentée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 24 : Classification des techniques de réhabilitation envisageables par famille et par type

Réhabilitation potentielle	Milieu concerné	Polluants inorganiques					Polluants organiques						
		Métaux lourds	Non Métaux	Amiante	Cyanures	Explosifs	COV	Hydrocarbures halogénés	Hydrocarbures non halogénés	HAP	PCB	Dioxines et furanes	Pesticides et herbicides
Confinement													
Confinement - couverture	S	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Confinement hydraulique	W	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Confinement vertical	S, W	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Excavation et enfouissement	S	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Procédés biologiques													
Atténuation naturelle	W	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-	-	+
Bioterre	S	-	-	-	-	+	+	-	+	+	-	-	+
Bioventing	S	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-
Biosparging	S, W	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	+
Landfarming	S	-	-	-	-	+	+	-	+	+	-	-	+
Traitement sous forme de boue	S	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	?	+
Andain	S	-	-	-	-	+	+	-	+	+	-	-	+
Procédés chimiques													
Oxydation chimique	S, W	-	+	-	-	-	+	+	+	+	-	-	+
Déhalogénéation chimique	S	-	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-
Lavage chimique	S	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-
Extraction par solvants	S	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
Amendements en surface	S	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Procédés physiques													
Extraction multiphase	S, W	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-
Air sparging	W	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-
Venting	S	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-
Barrière perméable réactive	W	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Lavage	S	+	+	-	+	-	-	+	+	+	+	-	+
Procédés de solidification et de stabilisation													
Liants hydrauliques (ciments)	S	+	+	+	?	-	-	-	?	+	+	+	?
Vitrification	S	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Procédés thermiques													
Incinération	S	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Désorption thermique	S	+	-	-	+	-	+	+	+	+	+	-	+

+ : envisageable

S : zone non saturée et sédiments

- : non envisageable

W : zone saturée et eaux superficielles

La colonne relative aux possibilités d'application des techniques de dépollution pour les pollutions (HAP) identifiées sur le site KLEBER est encadrée dans le tableau ci-avant.

9.4.1. Solutions de dépollution écartées

Conformément au souhait de la maîtrise d'ouvrage, la technique de dépollution par excavation des sources sol et évacuation hors site en filière de traitement agréée n'est pas à privilégier. Toutefois, et afin de constituer une base de comparaison pour le critère économique, cette solution a été étudiée.

Les traitements mécaniques par venting sont également écartés en raison de leur faible efficacité supposée compte-tenu des caractéristiques des hydrocarbures présents (faible volatilité d'après les résultats d'analyses des gaz du sol).

L'atténuation naturelle contrôlée (processus se produisant naturellement dans les sols, sans intervention humaine, et visant à réduire la masse, la toxicité, la mobilité, le volume ou la concentration des contaminants dans ces milieux) n'est pas une solution envisageable car des sources sols en hydrocarbures subsistent sur le site. Cette approche peut être adaptée comme une solution de finition par rapport à des teneurs résiduelles en extérieur notamment, mais ne permet pas de traiter efficacement des sources concentrées.

Les traitements par désorption thermique sont écartés car au regard des teneurs relevées trop peu élevées pour un tel traitement.

Enfin, des solutions de confinement sur site des matériaux impactés ne sont pas en adéquation avec les attentes de la maîtrise d'ouvrage et des projets de réaménagement envisagés.

9.4.2. Solutions de dépollution envisageables

La gestion des sources sol peut être réalisée selon de nombreuses méthodes sur ou hors site :

Sur site

- Phytotechnologies : Couplage phytostabilisation, phytolixiviation et phytodégradation via andinage + récupération et traitement des lixiviats via noues plantées et filtres plantés. Phytostabilisation et phytodégradation de surface via couvert végétal et prairies.

Hors site

- Excavation et évacuation hors site : Cette technique vise le terrassement des terres impactées, leur évacuation vers un centre de traitement agréé et le remblaiement des fouilles par des terres saines.

9.4.2.1. Scénario 1 : Traitement par phytotechnologies

a) Approche générale

Le traitement des pollutions sur le site via des techniques de phytoremédiation répond à un quadruple enjeu :

- Mise en sécurité du site par abattement des charges polluantes ou stabilisation de ces dernières ;
- Intégration de biodiversité au site et développement de son aspect naturel via des corridors écologiques et des aménagements naturels permettant le foisonnement de biodiversité animale et végétale ;
- Traitements esthétiques et véritable intégration paysagère ;
- Limitation des traitements hors-site et donc des coûts de traitement.

Le phytomanagement permettra ainsi de créer un site naturel, esthétique et optimal pour une ouverture au public. Les différents aménagements sur le site permettent de créer des démonstrateurs de phytotechnologies, qui feront l'objet d'un suivi et permettront de rendre compte de l'efficacité de ces techniques sur un exemple concret.

Les pollutions détectées dans les sols de la zone sont principalement des pollutions aux HAP et éléments-traces métalliques.

Les éléments-traces métalliques et les HAP sont des polluants d'origine, de composition et de caractéristiques différentes qui interagissent de manière différente avec le sol, les plantes et l'environnement en général.

Les éléments-traces métalliques sont des éléments chimiques qui ne se décomposent pas et qui sont toxiques pour la santé lorsqu'ils sont présents en fortes concentrations. Ces polluants peuvent être retenus par les particules du sol (par exemple, la matière organique, les complexes humico-argileux, les sesquioxides, entre autres), ou retenus par les plantes grâce aux processus de phytoremédiation présentés ci-dessus. Cela réduit leur biodisponibilité et, par conséquent, leur potentiel toxique pour l'environnement et les organismes vivants qui l'habitent.

Les principales techniques utilisées dans l'aménagement seront la **phytostabilisation** et la **phytodégradation**.

La **phytostabilisation** est l'utilisation de plantes pour l'immobilisation de contaminants dans le sol par absorption et accumulation dans les racines, adsorption sur les racines ou précipitation dans la rhizosphère. Le principal objectif de leur utilisation est de réduire la disponibilité et la toxicité des ions métalliques dans le sol par immobilisation chimique, ainsi que de réduire la migration de ces contaminants vers d'autres milieux, transportés par l'action du vent, l'érosion hydrique, la lixiviation à travers le profil du sol et tout autre type de dispersion de leurs particules en général. La phytostabilisation des éléments-traces métalliques et des pseudo-métaux peut se produire, comme indiqué ci-dessus, par le biais de différents mécanismes chimiques tels que la sorption, la précipitation, la complexation ou la réduction de leur état d'oxydation.

- Sorption : ce processus implique la fixation des ions métalliques à la surface des composants du sol (tels que la matière organique, les complexes argilo-humiques) et des plantes (à la surface des racines des plantes)

- Précipitation : ce processus se produit lorsque les ions métalliques se lient entre eux pour former des composés insolubles
- Complexation : ce processus se produit lorsque les ions métalliques se lient à des composés organiques ou inorganiques pour former des complexes.
- Réduction de l'état d'oxydation : ce processus implique la conversion d'ions métalliques hautement toxiques en formes moins toxiques par l'ajout d'électrons.

La **phytodégradation** et la **rhizodégradation** sont deux procédés (qui peuvent être associés) durant lesquels : Dans le premier cas, les polluants organiques sont dégradés sous l'action des enzymes de la plante en produits moins complexes et inoffensifs ou les minéralisent en formes chimiques plus simples telles que le CO₂ et le H₂O. Dans le deuxième cas, sous l'action des micro-organismes habitant la rhizosphère (le sol entourant les racines des plantes), aidés par la sécrétion des exsudats racinaires qui stimulent leur croissance..

Un enjeu particulier, afférent aux traitements par phytotechnologies, est l'intégration de la faune et de la flore déjà présente sur site dans les aménagements. Les enjeux autour des batraciens, et notamment du Crapaud calamite, et de l'avifaune, et notamment de la Pie grièche écorcheur, sur ce site sont pris en compte dans le plan de gestion proposé et constituent un axe majeur de conception.

A NOTER : les aménagements de loisir et d'accessibilité de la zone, type aires de jeux / terrains de sport / cheminements / mobiliers (bancs, ...), ne sont pas abordés dans ce Plan de Gestion. Ils sont représentés partiellement sur les cartes, sur la base des idées d'aménagement portées par la Maîtrise d'Ouvrage du Quartier Kléber, mais ne sont pas intégrés à proprement parler dans les propositions ou dans les chiffrages du Plan de Gestion.



Figure 15 – Plan général des aménagements du plan de gestion

b) Andains Plantés, Noues Plantées et Filtres Plantés



Figure 16 – Carte aménagements Andains Plantés, Noues Plantées et Filtres Plantés

Le principal système de dépollution par phytotechnologies qui sera proposé est un système articulant des andains plantés (AP), des noues plantées (NP) de récupération des lixiviats et des filtres plantés (FP) de traitement de ces lixiviats.

Les andains plantés (AP) seront constitués avec les terres excavées sur site, c'est-à-dire les terres dont les teneurs en polluants dépassent les valeurs seuils retenues par ARTELIA. Ces andains seront également constitués d'une partie des déblais issus de la création des zones humides et des filtres plantés sur le site.

Phytodégradation et phytostabilisation auront lieu en parallèle sur ces andains, en fonction des polluants et via des plantations choisies. Les andains seront étanchés et les eaux de ruissellement chargées seront récupérées en bas d'andains dans des noues plantées (NP) d'acheminement.

Les noues plantées (NP) permettront d'acheminer les eaux de ruissellement depuis les andains vers les filtres plantés (FP) qui permettront de continuer à phyto-dégrader et à phytostabiliser les pollutions. Elles seront étanchées et des plantations seront réalisées sur substrat poreux, afin de commencer à traiter et à fixer les pollutions pendant leur acheminement vers les FP. Elles serviront également à acheminer les eaux traitées par les FP vers les zones humides, lieu final de recueil des eaux de ruissellement du site.

Les filtres plantés de piégeage (FP) seront réalisés aux endroits des excavations des points de pollutions concentrées (PPC) afin de minimiser les mouvements de terre sur site. Ils seront réalisés sous la forme de Jardins Filtrants de piégeage, technologie brevetée. Ils permettront, via l'articulation d'un substrat multicouche et de plantations choisies, de réaliser une étape supplémentaire de phyto-dégrader et de phytostabiliser des lixiviats. Ces eaux sont ensuite envoyées gravitairement vers les zones humides du site.

L'articulation entre ces différentes zones plantées et humides permettra de créer des écosystèmes complexes sur le site, favorables au maintien et au foisonnement de la biodiversité. L'approche esthétique de l'ensemble est focalisée sur le caractère organique des formes.

L'ensemble de ce système sera clôturé via des clôtures basses, afin de dissuader le public mais également de marquer le territoire de la dépollution et permettre l'articulation et la mise en valeur de panneaux pédagogiques.

❖ Volumes et composition des terres dans les Andains Plantés

Les terres contenues dans les andains seront les terres excavées sur site, dont les teneurs sont supérieures aux seuils limites définis lors de l'étude statistiques des pollutions (PPC). Les volumes en jeu sont les suivants approximativement :

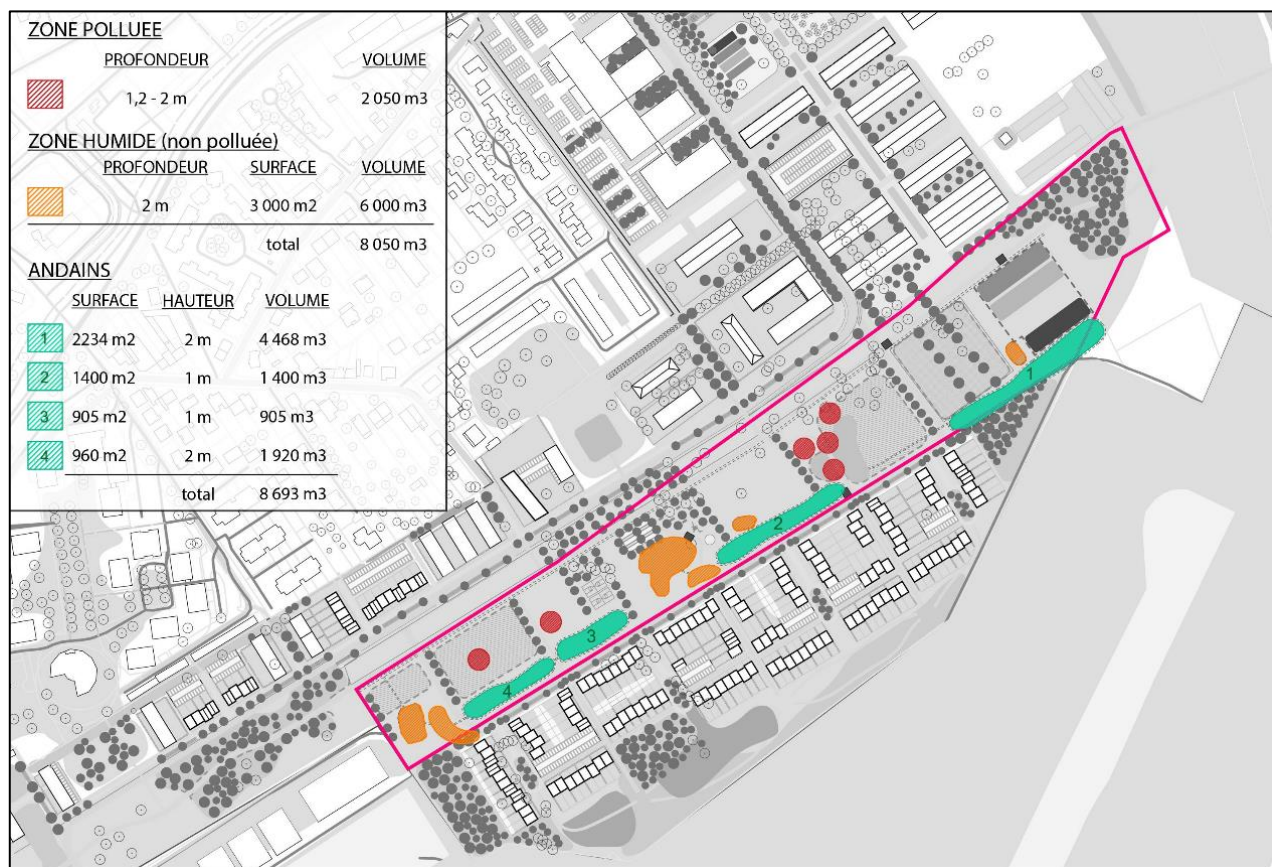


Figure 17 – Identification des volumes à excaver et des volumes approximatifs des andains

Ces volumes pourront être revus en fonction du scénario retenu à l'échelle de l'aménagement global du quartier pour la dépollution des terres contaminées. En effet, une partie des sols issus des projets d'aménagements du quartier, qui proviendraient d'en dehors de la zone de phytotechnologies, pourrait être tout de même stockée dans les andains. Dans ces cas, les terres issues des déblais nécessaires à la conception des zones humides (hors Points de Pollutions Concentrées) pourront être utilisées ailleurs ou évacuées. Les teneurs moyennes en polluants de ces terres sont les suivantes, en moyenne pondérée sur les volumes d'excavations :

Teneurs pour les excavations PPC A, PPC B, PPC C, toutes profondeurs										
	HAP somme	HCT C10-C40	As	Cd	Cr tot	Cu	Hg	Pb	Ni	Zn
Teneur moyenne en mg/kg	124	349	34,2	0,2	66,7	25,5	0,2	47,5	104,1	130,9

D'après les analyses agronomiques réalisées, la composition agronomique des terres est compatible avec un traitement par phytodégradation et phytostabilisation sur andains, moyennant certains apports de matières organiques. En effet, les teneurs en Matières Organiques (MO) libres et totales sont moyennes à basse. Cela signifie que la vie du sol est moyennement développée et qu'il convient d'améliorer le stock nutritif disponible pour le développement des plantations et pour la biodégradation des polluants. La croissance microbienne sera favorisée par la bonne disponibilité des nutriments dans le sol. Le rapport C/N de la MO libre est de 15,6, ce qui est élevé et augure des humus pas complètement fonctionnels. Les apports de compost et terre végétale dans les dispositifs phytotechnologiques décrits dans les parties suivantes visent à compenser ce potentiel déficit.

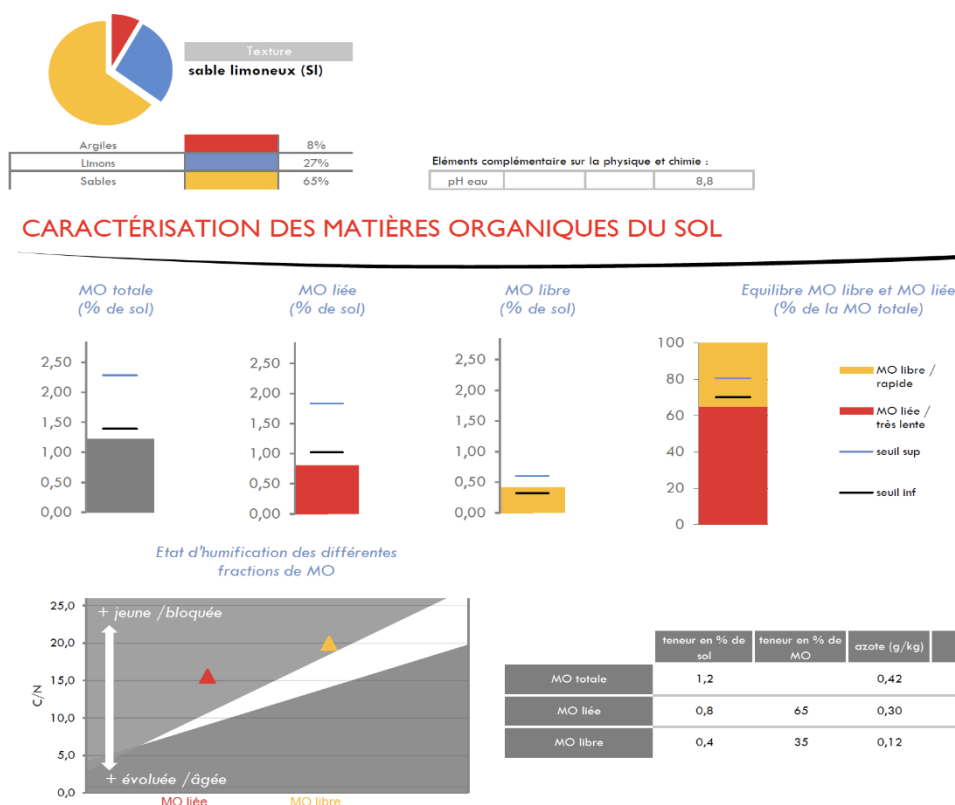


Figure 18 – Etat agronomique général des sols

❖ Détails Andains Plantés et Noues Plantées

Les andains seront formés en disposant les terres polluées en strates successives. Une couche superficielle de compost sera ajoutée afin d'augmenter l'aération du sol et apporter les nutriments nécessaires au bon développement des plantations. Des couches intermédiaires de compost d'une épaisseur comprise entre 15 et 30 cm seront également ajoutées entre les couches de sol stratifiées afin d'augmenter l'activité microbienne (composition en « lasagne » compost/terres polluées).

Les 4 andains auront des hauteurs comprises entre 1 et 2m au maximum et la forme de leurs crête sera travaillée irrégulièrement. En effet, le fond du site sur sa partie Est est occupé entièrement par des merlons de séparation avec l'aérodrome. Ces merlons sont extrêmement imposants et d'aspect « technique » et ils sont disposés dans la perspective directe des andains prévus pour les aménagements susmentionnés. De plus, la partie Est du site directement adjacente sera occupée par des maisons, qui profiteront d'une vue sur le parc. Dès lors, il est important d'un point de vue de l'esthétique paysagère de casser la masse imposante des merlons et leur aspect monotone, par des andains plutôt bas, effilés et aux formes irrégulières. Des andains bas permettent également une meilleure pénétration du système racinaire des plantes jusqu'aux couches inférieures et une meilleure aération et donc biodégradation sur l'andain.

Les andains ainsi que les noues plantées seront étanchés sur complexe géotextile + géomembrane afin d'éviter les percements.

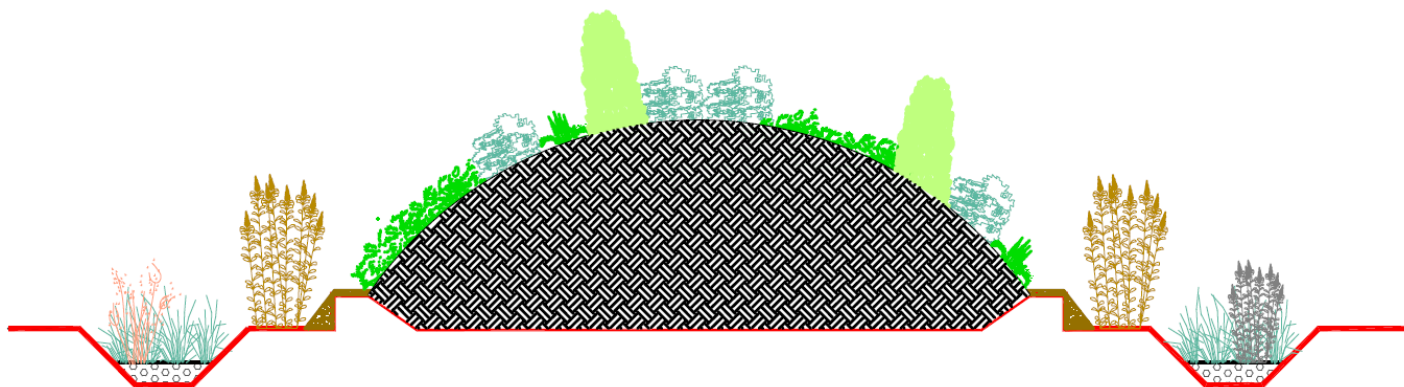


Figure 19 : Coupe face Andains plantés + Noues Plantées

La lixiviation via les eaux pluviales entraînera dans les noues plantées les polluants qui n'auront pas été stabilisés dans les complexes racinaires des plantes. Le recueil de ces lixiviats dans les noues plantées et leur acheminement vers le filtre planté de piégeage permet d'éviter l'éventuelle migration des polluants vers la nappe et de continuer à abattre et à stabiliser les polluants, particulièrement les polluants métalliques. Les noues plantées ont été placées tout au long du site pour permettre non seulement le traitement et l'acheminement des lixiviats mais également la gestion de l'intégralité des eaux pluviales du site.

Les noues plantées seront également des ouvrages intégrateurs de biodiversité et participant à l'esthétique paysagère naturelle de l'ensemble de l'aménagement.



Figure 20 : Exemple de Noues Plantées d'acheminement (quartier Camille Claudel, Palaiseau)

Les andains seront travaillés avec des formes organiques et des variations de niveau, afin de créer un aspect naturel et éviter l'effet « andains techniques ».

Les plantations seront réalisées afin de maximiser les effets de rhizodégradation et phytostabilisation sur les andains : les parties les plus épaisses et plates, au faite de l'andain, seront plantées majoritairement de graminées et d'arbustes bas, tandis que les parties les plus basses seront plantées de graminées et de ligneux (hauteur <3m, contrainte

aérodrome). L'ensemble sera également planté d'un couvert d'herbacées afin d'augmenter la couverture végétale et de limiter l'érosion.

Les arbustes choisis sont les suivants (plan de plantation exact à déterminer après PCT) :

- Saules et Aulnes pour leurs bonnes capacités phytostabilisatrices.

Exemple d'essences arbustives présentes dans le Grand-Est pouvant être utilisées :

- Aubépine (*Crataegus monogyna*) ;
- Cornouiller mâle (*Cornus mas*) ;
- Prunellier (*Prunus spinosa*) ;
- Cornouiller sanguin (*Cornus sanguinea*) ;
- Sureau noir (*Sambucus nigra*) ;
- Fusain d'Europe (*Euonymus europaeus*) ;
- Troène commun (*Ligustrum vulgare*) ;
- Noisetier (*Corylus avellana*).

Les herbacées graminées choisis seront parmi les suivants (plan de plantation exact à déterminer après PCT) :

- Miscanthus (*Miscanthus Giganteus*), *Phalaris Arundinacea*, *Festuca sp.*, *Bromus sp.*

Le miscanthus sera particulièrement mis en valeur sur certaines zones. En effet, le miscanthus est une graminée vivace, robuste, peu sensible aux maladies et montrant une croissance importante et rapide. De nombreux essais ont montré l'absence d'accumulation des polluants dans les parties aériennes de la plante, notamment sur les éléments traces métalliques, et leurs bonnes fixations par les parties racinaires. Cela en fait une plante très efficace en phytostabilisation mais également valorisable en biomasse, ce qui est une orientation très intéressante pour les aménagements plantés du site. Cependant, il doit être associé à d'autres espèces pour être particulièrement efficaces et la diversification des graminées permettra de limiter l'installation d'espèces nicheuses sur la zone et donc de réduire les risques réglementaires par rapport à l'aérodrome proche.

Des autres herbacées choisies (légumineuses et autres familles) seront parmi les suivantes (plan de plantation exact à déterminer après PCT) :

- Carex (*Carex sp.*), Luzerne (*Medicago sativa*), Trèfles (*Trifolium repens*, *Trifolium pratense*).

Les espèces finales choisies cibleront autant que possible des espèces végétales que l'on trouve naturellement dans le Grand-Est.

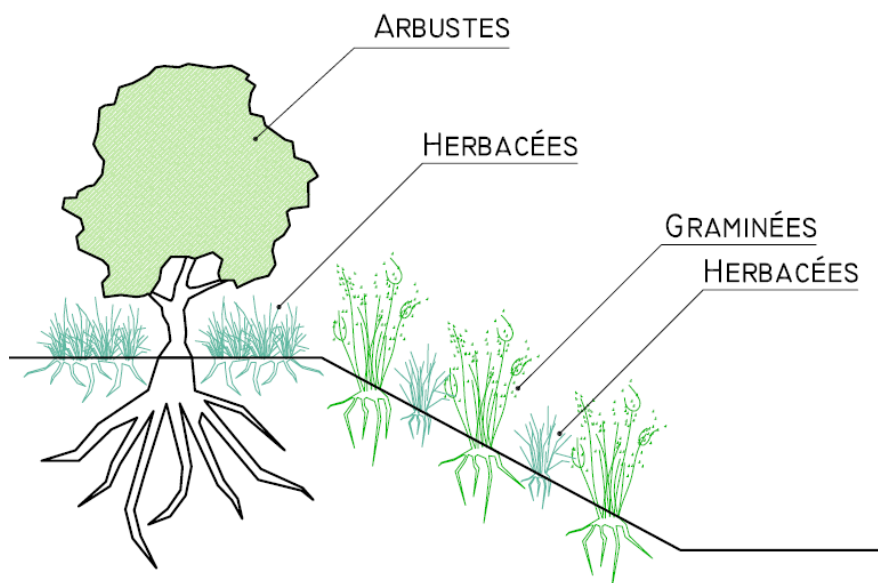


Figure 21 : Schéma de principe des plantations sur les andains

La composition des andains et le choix final des végétaux utilisés ainsi que des amendements utilisés sera réalisé sur la base des planches d'essais réalisés pour la phase PCT.

❖ Détails Filtres Plantés

Les lixiviats, acheminés via les Noues Plantées, seront canalisés vers des filtres de piégeage et de dépollution plantés utilisant la phytotechnologie brevetée des Jardins Filtrants. Ces filtres seront réalisés directement dans les zones d'excavation des Points de Pollution Concentrés (PPC).



Figure 22 : Exemple de Jardins Filtrants pour traitement d'eau polluées

Le Jardin Filtrant® reconstitue un milieu humide, à vocation épuratoire en associant tout un panel de végétaux épurateurs et ornementaux, assurant une biodiversité floristique et faunistique. Il est un système d'épuration naturelle utilisant les capacités épuratoires des écosystèmes c'est à dire l'association du biotope et de la biocénose. Il s'agit de combiner le rôle épuratoire - du substrat de plantations - et d'une communauté vivante associant les végétaux et la microfaune. Il combine donc des capacités de dégradation des polluants organiques et de fixation des polluants inorganiques.

Le Jardin Filtrant se définit comme un biofiltre assurant une filtration et une épuration des eaux qui les traversent. Ils adaptent à la fois les groupements végétaux les plus performants (à partir d'une sélection de végétaux dont les capacités épuratrices sont connues) et les substrats les plus aptes pour garantir l'épuration la plus complète.

Le Jardin Filtrant sera étanché sur géotextile + géomembrane et contiendra une couche superficielle de substrat riche en matière organique et une couche profonde de substrat type gravier non calcaire. L'eau épurée sera évacuée directement vers une des zones humides du site.

Ces Jardins Filtrants seront réalisés avec des espèces plantées choisies selon les critères suivants : adaptation au milieu géographique et présence naturelle dans des milieux proches géographiquement, capacité de dépollution et de fixation de la pollution, résistance aux conditions climatiques, interactions avec la biodiversité du site (basée sur les études menées par Ecolor). Les espèces choisies usuellement sont parmi les suivantes :

- Iris, Carex, Phragmites, Miscanthus, Typha

Ce filtre de piégeage concentrera au sein du substrat riche en matière organique les polluants inorganiques résiduels présents dans les lixiviats en provenance des andains. Le substrat complet devra être évacué tous les 7 à 10 ans en filière

spécialisée pour le traitement des éléments traces métalliques. Au vu de la taille du filtre, cela correspondra environ à un camion à chaque fois.

FILTRE PLANTE DE PIEGEAGE

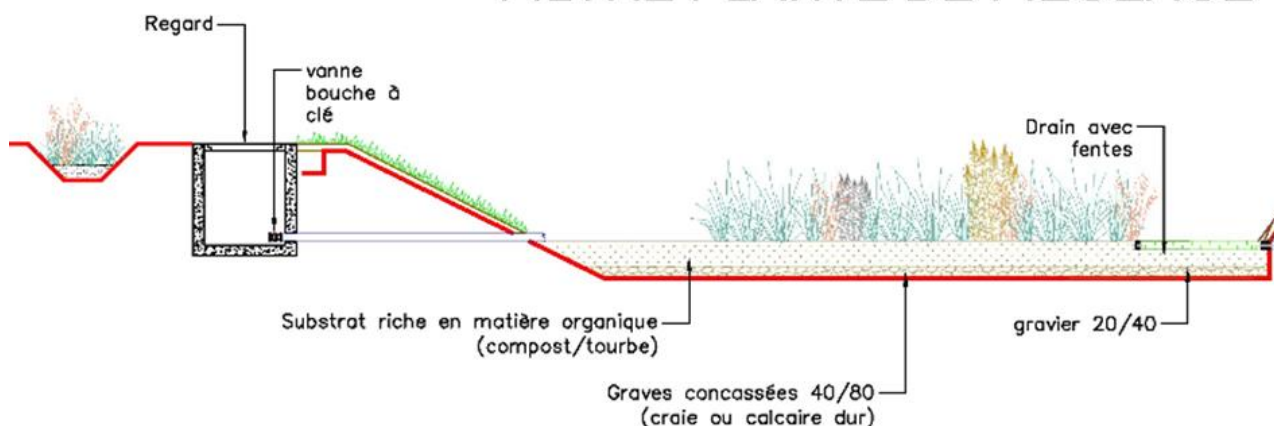


Figure 23 : Coupe de principe du filtre planté de piégeage

D'après les études d'Ecolor, des espèces naturellement présentes dans le Grand-Est et utilisées pourront être les suivantes :

- Iris jaune (*Iris pseudacorus*) ;
- Valériane officinale (*Valeriana officinalis*) ;
- Rubanier dressé (*Sparganium erectum*) ;
- Grande glycérie (*Glyceria maxima*) ;
- Salicaire commune (*Lythrum salicaria*) ;
- Reine des prés (*Filipendula ulmaria*) ;
- Cirse des marais (*Cirsium palustre*) ;
- Cirse des maraichers (*Cirsium oleraceum*) ;
- Populage des marais (*Caltha palustris*) ;
- Fausse laîche aiguë (*Carex acutiformis*).

De plus, les Jardins Filtrants® sont conçus comme des ouvrages esthétiques, paysagers et garantissant une sécurité permanente. Ils permettent également de comprendre, grâce à la potentielle implantation de panneaux explicatifs le long du platelage bois les points suivants :

- le fonctionnement des Jardins Filtrants®,
- les milieux humides et leur capacité d'épuration,
- le développement des plantes épuratrices,
- la biodiversité des milieux humides,
- l'importance de protéger les ressources naturelles que sont l'eau, les sols et l'air.



Figure 24 : Exemple panneau pédagogique en bord d'aménagement de phytoépuration (Saintry-sur-Seine)

❖ Panneaux pédagogiques

Entre 3 et 5 panneaux pédagogiques seront implantés en bordure des cheminements du parc pour mettre en valeur les sujets suivants :

- Les différents démonstrateurs de phytotechnologies
- La faune ordinaire du site
- Les espèces végétales utilisées dans l'aménagement et leur lien avec les écosystèmes locaux

Leur conception sera assurée par la maîtrise d'œuvre chargée des phytotechnologies. L'ensemble du système Andains + Noues + Jardins Filtrants sera clôturé via des clôtures basses, afin de dissuader le public mais également de marquer le territoire de la dépollution et permettre l'articulation et la mise en valeur des panneaux pédagogiques.



❖ **Entretien du système Andains + Noues + Filtres**

L'application d'une gestion différenciée dans l'entretien des espaces verts consiste à adapter les pratiques d'entretien en fonction des caractéristiques de chaque zone, plutôt que de les traiter toutes de la même manière. Cela permet de maximiser la biodiversité, de réduire les coûts d'entretien et de s'affranchir de l'utilisation de produits chimiques. De manière générale, l'entretien de ces dispositifs de phytoépuration correspond à un entretien d'espaces verts, en très poussé. En effet, la survie et la bonne croissance des végétaux influence directement les résultats des dispositifs de gestion des pollutions.

Cet entretien pourra être réalisé directement par les agents de gestion espaces verts de la métropole de Grand Nancy, moyennant des formations initiales et la production de notices d'entretien par l'entreprise chargée de la mise en place des dispositifs de phytoépuration sur la zone.

Ci-après, sont présentées les différentes opérations d'entretien selon les différentes zones du système Andains + Noues + Filtres :

- **Andains et noues :**
 - Surveillance visuelle croissance végétaux et fonctionnement hydraulique
 - Fauches une à deux fois par an, en fonction de la croissance des espèces présentes ;
 - Arrosage (2/semaine en été, 1/semaine en automne et printemps, 0 en hiver)
 - Désherbage (environ 10 fois/an)
 - Il peut être judicieux de laisser une bande de végétation haute (15 à 20 cm) sur les bords pour favoriser la biodiversité et protéger les berges de l'érosion.
- **Jardin filtrant de piégeage et Zone Humide :**
 - Toute l'année :
 - Surveillance visuelle croissance végétaux et fonctionnement hydraulique
 - Fauche environ 1 fois/an
 - Désherbage (environ 10 fois/an)
 - Au printemps :
 - Enlever et composter les feuilles des arbres et autres détritiques pendant l'hiver et l'automne ;
 - Vérifier le fonctionnement de toutes les vannes, pompes et ouvrages hydrauliques.
 - En période estivale :
 - Contrôler et retirer les éventuels obstacles pouvant perturber le bon écoulement des eaux pluviales notamment après de fortes pluies ;
 - Contrôler et enlever la pousse d'arbustes ou de vivaces non prévues pouvant bloquer à terme le bon écoulement de l'eau.
 - En automne et en hiver :
 - Quand les jours deviennent plus frais, les plantes aquatiques se jaunissent et annoncent l'hivernage ;
 - Faucardage des végétaux à partir du milieu de l'hiver ou juste avant le début du printemps ;
 - Vérifier l'apparition de dégradations suite à l'arrivée de nuisibles (rat brun, surmulot, ragondin ...).
- **Curage du Jardin Filtrant de piégeage :**

Le filtre de piégeage concentrera au sein du substrat riche en matière organique les polluants inorganiques résiduels présents dans les lixiviats en provenance des andains. Le substrat complet devra être évacué tous les 7 à 10 ans en filière spécialisée pour le traitement des éléments traces métalliques. Au vu de la taille du filtre, cela correspondra environ à un camion à chaque fois.

❖ Suivi général du système

Un suivi du fonctionnement du système andains + noues + Jardin Filtrant devra être réalisé au moyen des contrôles suivants :

- Contrôles de la qualité de l'eau en sortie de Jardin Filtrant (2/an)
- Analyse et suivi des couvertures végétales et de l'état des végétaux

c) Zones humides

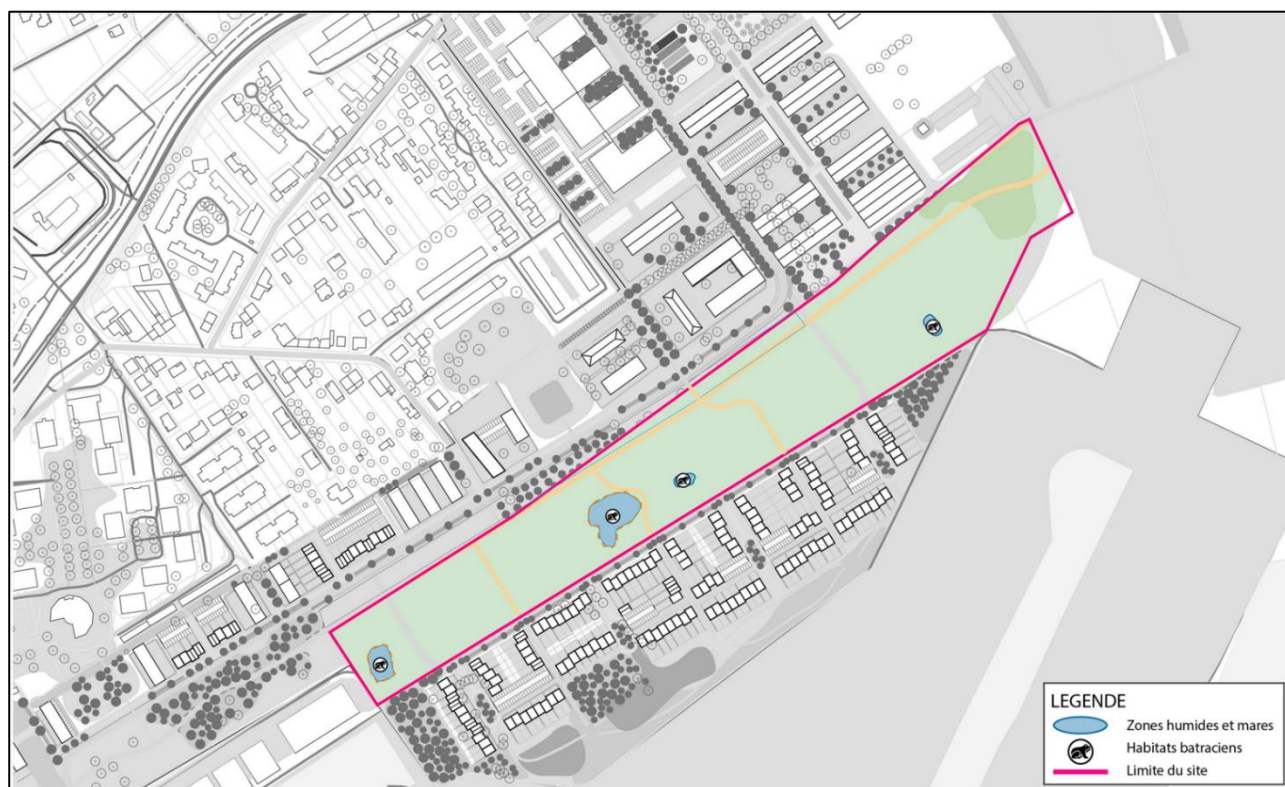


Figure 25 : Carte aménagements Zones humides

Deux zones humides larges, à l'Ouest du site, seront réalisées en prenant en compte la topographie et les écoulements sur site. Elles permettent la création d'un écosystème complexe sur site. Cet écosystème sera tout particulièrement adapté aux crapauds calamites, qui ont besoin d'une association plan d'eau / berges de prairie / buissons pour réaliser leur cycle de vie de l'œuf jusqu'à l'adulte dans de bonnes conditions. Les deux zones humides de l'Ouest du site seront conçues dans ce sens : leur bordure sera végétalisée et peu profonde (ponte des crapauds) et elle sera entourée d'une prairie humide (repos et alimentation des crapauds).

Elles recevront les eaux de pluie directement mais aussi les eaux issues des Filtres Plantés. Leur forme organique est travaillée pour permettre une parfaite intégration paysagère.

Une pente douce sera réalisée depuis les prairies environnante vers les zones humides. Cette pente permettra de réaliser un ourlet de plantes aquatiques adaptées au traitement des eaux de pluie et favorables à une transition écosystémique douce.

Les espèces plantées dans la zone humide seront choisies pour leurs bonne capacités phytoépurations, afin de continuer l'action de dégradation initiée dans les Andains Plantés, les Noues Plantées et les Filtres Plantés.

Deux mares pour crapauds calamites seront également créées, dans les prairies pâturées à l'Est du site. Le crapaud calamite apprécie les habitats aquatiques de faible profondeur à caractère pionnier (peu de végétation). Le piétinement des moutons dans les mares permettra de conserver leur aspect pionnier.

Les deux zones humides larges à l'Ouest du site seront clôturées via clôtures basses, afin de dissuader le public mais également de mettre en valeur leur participation aux actions de dépollution sur site (recueil des eaux traitées), via des panneaux pédagogiques.

Les espèces plantées dans les zones humides seront choisies pour leurs bonnes capacités phytoépuratrices, afin de continuer l'action de dégradation initiée dans les Andains Plantés, les Noues Plantées et le Filtre Planté. Elles seront également choisies pour leur capacité à supporter des variations de niveau d'eau, et en évitant les espèces qui risqueraient d'envahir la mare en cas de niveau bas prolongé. Les espèces finales choisies cibleront autant que possible des espèces végétales que l'on trouve naturellement dans le Grand-Est, comme par exemple :

- Iris jaune (*Iris pseudacorus*) ;
- Valériane officinale (*Valeriana officinalis*) ;
- Rubanier dressé (*Sparganium erectum*) ;
- Grande glycérie (*Glyceria maxima*) ;
- Salicaire commune (*Lythrum salicaria*) ;
- Reine des prés (*Filipendula ulmaria*) ;
- Cirse des marais (*Cirsium palustre*) ;
- Cirse des maraichers (*Cirsium oleraceum*) ;
- Populage des marais (*Caltha palustris*) ;
- Fausse laîche aiguë (*Carex acutiformis*).

Les zones humides pourront faire l'objet d'une fauche avec export en automne (septembre-octobre). Des zones refuges seront laissées, en faveur de la biodiversité du site. Un objectif de 50% de fauche annuelle pourra être fixé.

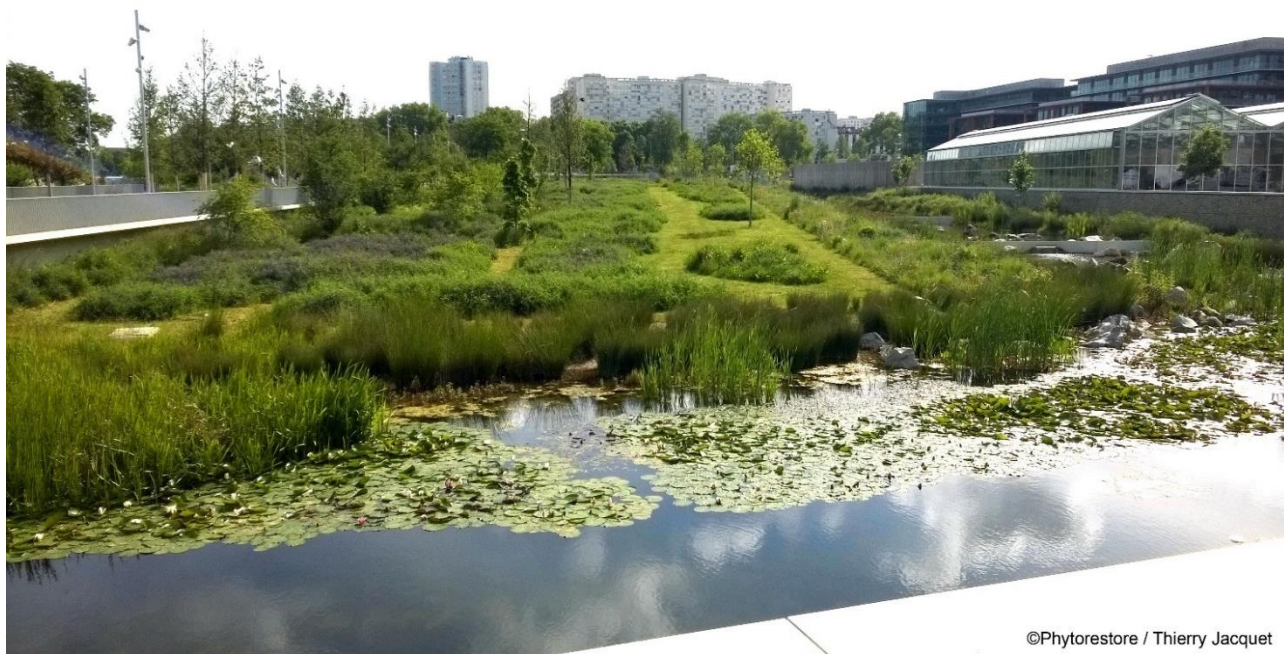


Figure 26 : Exemple zone humide plantée (parc des docks de Saint Ouen)

Pour la zone humide centrale, un platelage bois sera installé qui permettra de compléter l'aménagement paysager et de créer un poste d'observation large, avec panneaux explicatifs sur la biodiversité du site.



Figure 27 : Exemple de platelage bois au-dessus d'une zone humide plantée (Parc du Chemin de l'Île Nanterre)

d) Couverture végétale de l'ensemble du site



Figure 28 : Carte aménagements de couverture végétale

Tous les espaces non-aménagés du site bénéficieront d'une couverture végétale afin de limiter l'exposition des sols au public et de phytostabiliser l'ensemble des zones non traitées. Elle sera reconstituée sur une couche d'amendement

compost / terre végétale de 15 cm. La bonne qualité de cet amendement est primordiale. Cette couverture permet la phytostabilisation générale des polluants mobiles du site et évite l'envol des poussières.

L'enjeu paysager de cette couverture végétale diverse est également de créer plusieurs zones compartimentées sur site afin de créer un parc linéaire rythmé, à effet de découverte.

Ces zones de couverture végétale seront articulées en 4 types :

- Prairies / gazons accessibles au public
- Prairies sèches clôturées / pâturages : prairie d'herbes basses, essentiellement composée de plantes vivaces de hauteur moyenne (20cm) et de graminées. Nous proposons également l'utilisation pour ces prairies de plantes couvrantes comme le lierre et le sédum, aux propriétés phytostabilisatrices démontrées. Les fauches sur ces prairies clôturées sera réalisée par pâturage extensif ovin ou caprin, compatible avec les éventuelles pollutions résiduelles très faibles. Ces prairies seront plus diversifiées que les prairies/gazons accessibles au public.
- Haies basses : afin de permettre la séparation des différents compartiments du site, tout en ne favorisant pas trop le nichage d'oiseaux (contrainte aérodrome). Entre 80 et 100 arbres seront ainsi plantés sur l'ensemble du site.
- Zone de fourrés denses : cette zone préexistante au Nord-Ouest du site sera conservée, densifiée en plantation d'espèces couvrantes ainsi que d'arbres et arbustes pour créer une zone boisée dense favorable à la biodiversité sur site.



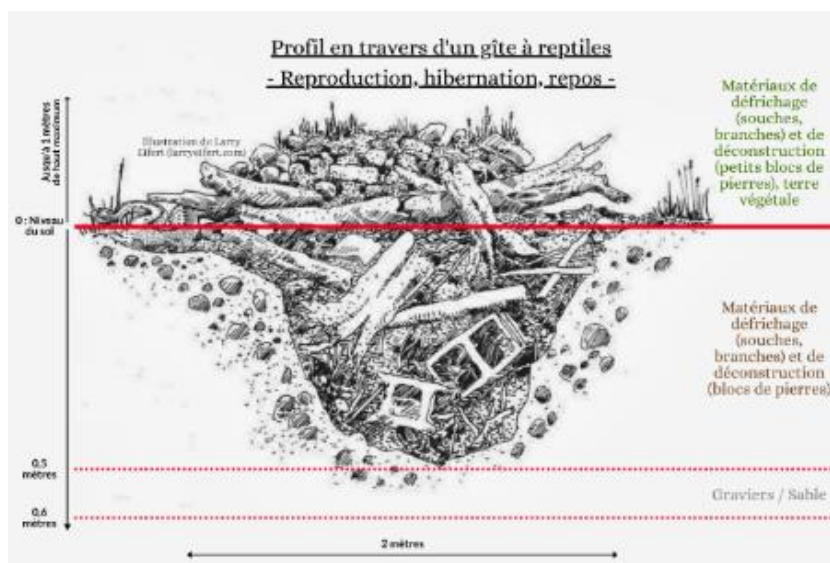
Figure 29 : Exemple prairie sèche (Franche-Comté)

Les prairies devront être fauchées régulièrement pour assurer un développement végétal maximal et stimuler la biodiversité. Une fauche avec export du produit de fauche sera réalisée annuellement en septembre-octobre, permettant ainsi, à la plupart des espèces d'insectes de réaliser leur cycle biologique complet. Pas de traitements spécifiques à prévoir sur les exports de fauche (traitement espaces verts classiques).

❖ Gîtes à reptiles et arbres morts

L'enjeu de la conservation et de la création d'habitats pour les reptiles sur le site est clairement identifié dans le plan de gestion écologique du site (cf. partie ECOLOR).

- La première mesure concerne la création de gîtes à reptiles sur site. Le bois mort présent sur site pourra être utilisé dans la confection de ces gîtes.



Cette mesure a pour objectif de recréer des gîtes artificiels principalement pour la population de Lézard des murailles. Ce type d'aménagement possède différentes fonctions biologiques pour cette espèce : abri nocturne, sites d'hivernage, zones de chasse, de cache et de repos.

Déroulement des opérations pour un gîte artificiel :

- Creuser une fosse d'environ 60cm de profondeur à la pelle mécanique ;
- Disposer une couche de sable (ou autres matériaux naturels drainant) au fond ;
- Puis disposer successivement des souches, des pierres, des branchages de différentes tailles. Ces matériaux seront mêlés à de la terre végétale.

Une surface de sable et de mulsh sera mise en place autour de l'abris, qui pourra servir de lieu de ponte pour les lézards.

- La seconde mesure concerne l'installation de troncs d'arbres. Les troncs d'arbres utilisés comme micro-habitats par le Lézard des murailles seront retirés avant le début des travaux puis réinstallés sur site après finalisation des aménagements.



Ils seront placés en lisières des haies plantées (voir carte ci-après), exposé Sud – Sud/Ouest, favorable à la thermorégulation du Lézard des murailles.

Ces aménagements sont identifiés sur la carte générale.

❖ Entretien

L'application d'une gestion différenciée dans l'entretien des espaces verts consiste à adapter les pratiques d'entretien en fonction des caractéristiques de chaque zone, plutôt que de les traiter toutes de la même manière. Cela permet de maximiser la biodiversité, de réduire les coûts d'entretien et de s'affranchir de l'utilisation de produits chimiques. De manière générale, l'entretien de ces dispositifs de phytoépuration correspond à un entretien d'espaces verts, en très poussé. En effet, la survie et la bonne croissance des végétaux influence directement les résultats des dispositifs de gestion des pollutions.

Cet entretien pourra être réalisé directement par les agents de gestion espaces verts de la métropole de Grand Nancy, moyennant des formations initiales et la production de notices d'entretien par l'entreprise chargée de la mise en place des dispositifs de phytoépuration sur la zone.

Les différentes opérations à réaliser seront les suivantes :

- Surveillance visuelle de la croissance des végétaux
- Désherbages (environ 10/an)
- Fauches (environ 1/an)

e) Agriculture expérimentale et biomasse



Figure 30 : Carte aménagements agriculture expérimentale et biomasse

- ❖ **Zone d'agriculture expérimentale** : Cette zone à l'Est du site a pour but de récolter des données sur les possibilités de plantations en vergers et cultures maraîchères sur des sols pollués. L'idée est d'y constituer un verger et un potager sur sol reconstitué, à partir d'un mélange d'excavation de terres polluées, de terre végétale et de compost. Ces zones permettront notamment d'étudier les transferts de polluants dans des fruits ou légumineuses, en partenariat avec le GIFSI et/ou l'Université de Lorraine. Cette zone sera rendue inaccessible au public via des clôtures hautes. La constitution exacte de ce démonstrateur et son suivi pourront être réalisés en partenariat avec l'Université de Lorraine (laboratoires GISFI ou LES), avec des tests sur les abattements en éléments traces et l'extraction dans les parties aériennes des plantes. La FNSEA pourra également être intégrée à l'étude globale des interactions agricoles du site Kléber.

- ❖ **Zone biomasse** : Sur cette zone, une production de biomasse dédiée, à but de valorisation, pourra être mise en place. Beaucoup de cultures comme le Miscanthus, le Sorgho, Carex, Stipa, se prêtent à des valorisation diverses (chaudières, paillage, bioplastiques, etc.) tout en possédant de très bonnes capacités phytostabilisatrices. L'idéal, dans le but de favoriser la biodiversité, est de diversifier les cultures et de ne pas faire des zones trop grandes d'une même culture.

Ces zones seront particulièrement favorables à la Pie Grièche écorcheur, déjà présente sur site. La Pie-grièche écorcheur est une espèce relativement sensible au dérangement. Les espaces publics ont donc été concentrés vers l'Ouest pour ainsi garder une zone de quiétude importante. Cette zone sera également intéressante pour plusieurs autres espèces patrimoniales : Bruant jaune, Tarier pâtre, etc.

f) Validation via essais en laboratoire (PCT)

Suite à l'affermissement de la tranche optionnelle 1, des essais de validation en laboratoire / pilote hors site ont été lancés en juin 2023 au sein du laboratoire d'analyses agronomiques et d'expérimentations de phytotechnologies sur le site de la Bioferme PHYTORESTORE de la Brosse-Monceaux (77), en simulant différentes configurations et sous conditions contrôlées avec pour objectifs :

- De mieux connaître le devenir des polluants dans le système de traitement en apportant en particulier des éléments de connaissance des mécanismes d'évolution des polluants en fonction de variables comme en particulier les concentrations et les formes de polluants présents au droit du site ;
- D'évaluer les effets des polluants sur les composantes biologiques du système de traitement afin d'évaluer leurs rôles, leurs performances et leur capacité de résistance ainsi que leurs impacts futurs.

Ces expérimentations doivent permettre de confirmer ou de compléter les différentes solutions de phytoépuration envisagées sur les différentes zones. Elles permettront également d'identifier les substrats idéaux, ainsi que les plantes idéales, pour la dépollution des sols et des eaux de ruissellement du site.

Les essais ont vocation à tester les paramètres suivants :

- **Phytostabilisation et phytodégradation dans le système Andains Plantés + Noues Plantées + Filtre Planté** : test d'écotoxicité, de lixiviation et d'abatteurs, en fonction des végétaux, des substrats et des amendements ;
- **Phytostabilisation dans le système Zone Arborée + Couvert Végétal** : tests d'écotoxicité et de lixiviation en fonction des végétaux et des amendements.

Des échantillons de terre, représentatifs des terres concernées par les deux systèmes évoqués ci-dessus ont été prélevés sur site. Les essais consistent à reproduire les conditions futures des sols subissant une phytoépuration et de relever différents paramètres sur le long terme.

9.4.2.2. Scénario 2 : Excavation et évacuation hors site

a) Méthodologie d'excavation

Le principe et les recommandations sont les mêmes que présentés précédemment.

Les filières d'évacuation retenues pour les matériaux impactés aux HAP du site KLEBER correspondent à une filière biocentre hors site. L'avantage du traitement en biocentre est de pouvoir valoriser les matériaux après atteinte du caractère inerte au sens de l'arrêté du 12/12/2014.

b) Méthodologie de transport et traçabilité

Le transport de terres polluées est réalisé par une entreprise ayant une autorisation préfectorale pour le transport de déchets dangereux. Les camions doivent être équipés de bennes étanches et bâchés lors du transport des terres polluées jusqu'au centre de traitement.

Tout transport de matières dangereuses devra être accompagné d'un bordereau de suivi des déchets (BSD). Ces bordereaux sont obtenus après :

- Envoi auprès du centre de traitement d'une fiche d'identification de déchets (FID), précisant les caractéristiques des terres polluées.
- Si le centre est apte à traiter ces terres, il transmet un certificat d'acceptation préalable (CAP).
- Puis des bordereaux de suivi de déchets (BSD) accompagnent les terres polluées évacuées depuis le camion de transport jusqu'au traitement des terres en filière.

c) Traitement / élimination des terres polluées

La filière d'évacuation des terres impactées aux HAP est en biocentre ou autre filière adaptée et autorisée.

9.4.2.3. Gestion des impacts diffus dans les remblais et impacts résiduels après purge des sources de pollution concentrée

Après purge des sources de pollution concentrée, des impacts diffus dans les remblais et teneurs résiduelles seront toujours présents. La mesure simple de gestion préconisée pour cette problématique générale de présence hétérogène de métaux / teneurs résiduelles en composés organiques dans les remblais superficiels du site vis-à-vis de l'exposition au public est la suivante :

« Maintenir un recouvrement des sols en place pour empêcher tout contact direct avec les usagers du site : apport de terre végétale d'apport au droit des espaces verts ».

Cette mesure permet en effet de couper, par recouvrement des terrains en place, les voies d'exposition par contact direct ou ingestion / inhalation de sols et poussières de sols.

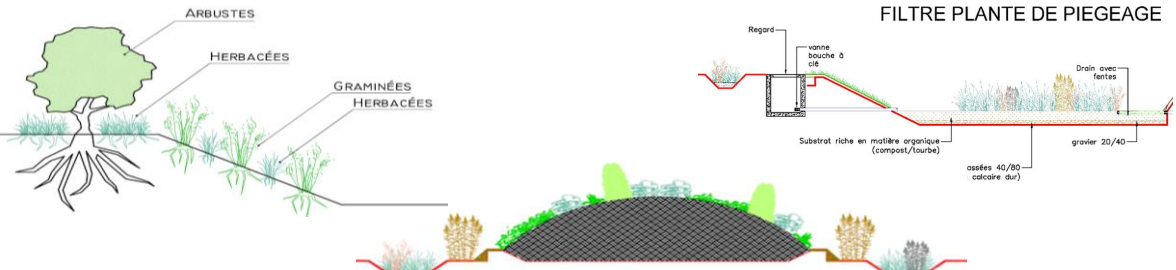
Les aménagements projetés dans le cadre du réaménagement du site (plantations arborées, prairies diversifiées, accès du public uniquement au droit de zones dédiées et recouvertes de matériaux exempts d'impacts) intègrent d'ores et déjà la gestion des impacts diffus et résiduels dans les remblais.

Compte tenu du caractère très peu lixiviable des éléments-traces métalliques démontré sur les analyses de sol, un recouvrement imperméable des sols n'est pas jugé nécessaire.

9.4.3. Evaluation multicritères des techniques envisageables de réhabilitation

L'objectif du présent chapitre est de présenter de manière synthétique les techniques présélectionnées applicables au site d'étude, sous la forme d'un bilan coûts-avantages. Cette évaluation est basée sur les aspects techniques, économiques et environnementaux et tient compte des contraintes spécifiques du site. Les estimations de coûts présentées dans le tableau ci-dessous ont été établies sur la base des connaissances actuelles du site et pourront être amenées à être réévaluées en fonction des résultats des investigations complémentaires, puis des observations de terrains lors de la mise en place du traitement.

Tableau 25 : Analyse multicritères des scénarios de gestion des sols

		Scénario 1 : Traitement par phytotechnologies sur site	Scénario 2 : Excavation et évacuation hors site
Critères Techniques	Description / Faisabilité	Excavation des sols et mise en place des terres impactées en andains sur site Création d'andains étanches avec couches interstitielles de compost, avec noues plantées de récupération des lixiviats, reliée à des filtres plantés de traitement des lixiviats. Création des filtres plantés de traitement des lixiviats au droit des zones d'excavation des points de pollution concentrés. Traitement sans excavation d'une partie des terres peu polluées, via couverture végétale et phytostabilisation. Mise en culture (vergers, miscanthus, haies, etc) de la majorité des espaces du site pour phytostabilisation	Excavation de l'ensemble des zones sources concentrées et évacuation en filière adaptée hors site - Délimitation de la zone à excaver correspondant aux zones concentrée des sols => évacuation d'environ 4 500 t en biocentre => Planning envisageable sur 1 mois de traitement (hors étude préalable et amené / repli de chantier)
	Avantages	- Solution esthétique avec véritable intégration paysagère - Contrôle des ruissellements chargés, prise en compte de la diffusion des polluants en phase aqueuse - Intégration de la biodiversité du site dans les aménagements et amélioration de la biodiversité du site - Stabilisation des polluants via phytostabilisation - Diminution des charges organiques via phytodégradation - Traitement de l'intégralité des sols via couvert végétal : limitation de l'envol des poussières, des lessivages, de l'érosion - Possibilité d'une valorisation foncière via un aménagement paysager pérenne - Gestion in situ limitant les coûts de traitement par rapport aux solutions ex-situ	- Extraction ciblée des zones concentrées identifiées par les sondages (excavation) => maîtrise des quantités extraites et garantie de résultats => les seuils de dépollution atteints sont aisément contrôlables via les analyses de fonds et de flancs de fouille - Bien adaptée pour éliminer une source de pollution concentrée et limitée dans l'espace - Possibilités d'adapter en cours de chantier les zones d'excavations et les filières d'évacuation selon les indices organoleptiques - Durée de chantier plus rapide que traitement <i>in situ</i> / sur site - Simplicité de mise en œuvre par rapport aux autres scénarios
	Limites	- Efficacité à contrôler au cours du temps - Entretien annuel nécessaire (entretien espaces verts et fonctionnement hydraulique des ouvrages) - Solution sur le temps long - Stabilisation des pollutions HAP plutôt que véritable dégradation - Solution à valider par des essais	- Peut dans certains cas favoriser la migration des polluants - Risque de dégazage - Excavation ne constituant qu'une phase préliminaire de traitement/réhabilitation : élimination des terres impactées hors-site en filière agréée
	Schéma de fonctionnement		
	Critères économiques *	Possibilité d'une valorisation foncière via un aménagement paysager pérenne Gestion in situ limitant les coûts de traitement par rapport aux solutions ex-situ - Système Andains plantés / noues plantées / filtres plantés : coût d'environ 1 460 000 € HT - Couverture végétale via prairie diversifiée : coût d'environ 190 000 € HT - Plantations miscanthus / vergers / potagers expérimentaux : coût d'environ 95 000 € HT - Zones humides : coût d'environ 204 000 € HT - Aménagements annexes (panneaux pédagogiques ; plantations haies, arbres et arbustes : platelage ; gîtes à reptiles ; traitement Renouée du Japon et Robinier faux-acacia et buddleja) : coût d'environ 56 000 € HT => Estimation globale d'environ 2 000 000 € HT pour l'intégralité du site, aménagements annexes compris	- Préparation, A/R matériel, terrassement des sols : 20 000 €HT - Evacuation biocentre (4 550 t) : 250 000 €HT - Transport (4 550 t) : 35 à 40 000 €HT - Aléas et maîtrise d'oeuvre (estim. 10%) : 30 000 €HT => Estimation globale scénario 2 : environ 330 000 à 340 000 €HT (hors coûts liés aux travaux de réaménagement du site)
	Critères environnementaux	Solution naturelle et intégratrice de biodiversité Adéquation avec les principes du développement durable Solution moins lourde pour les écosystèmes du site Solution permettant le bilan carbone le plus avantageux en limitant les mouvements de terres et les interventions humaines Solution systémique prenant en compte l'ensemble des écosystèmes du site et notamment les espèces protégées	- Bilan carbone élevé (excavation et transport des terres hors site, remblaiement avec des matériaux d'apport propres et terres non impactées du site) - Modification des sols - Valorisation possible des terres après traitement en biocentre

* Seuls les coûts spécifiés dans les cases sont inclus

Parmi les traitements étudiés, la gestion des sols via un traitement phytotechnologique sur site paraît, notamment d'un point de vue « innovation verte » et environnemental, la solution à privilégier par rapport à une évacuation des matériaux hors site (bilan carbone faible et valorisation ultérieure). La mise en œuvre des traitement phytotechnologiques pourrait par ailleurs permettre d'accueillir des matériaux impactés provenant des travaux des projets d'aménagement Cœur Plaines Rive Droite et urbain Kleber.

Le scénario de traitement 1 a été retenu par le Comité de Pilotage (réunion COPIL du 29/06/2023).

Les essais en laboratoire et pilote en cours de réalisation permettront de confirmer ou de compléter les différentes solutions de phytoépuration envisagées sur les différentes zones, d'identifier les substrats idéaux, ainsi que les plantes idéales, pour la dépollution des sols et des eaux de ruissellement du site, dans une optique d'optimisation des coûts et de confirmation des durées de traitement.

Le détail du chiffrage du scénario 1 de Traitement par phytotechnologies sur site, est présenté ci-après. L'estimation des coûts de suivi et entretiens post-travaux sont également présentés.

Tableau 26 : Détail du chiffrage du scénario 1

Aménagement	Description	Item	Quantité	Prix unitaire	Estimation prix
Aménagements liés à la gestion des pollutions					
Andains plantés	- 4 andains, 2 à 2m de haut les autres à 1m de haut - 5500m² de surface d'andains projection sol, 6500 m² de surface réelle, 8700 m3 de volume d'andains - Andains plantés des arbustes et herbacées; couverture végétale 100% - Amendement compost à apporter - Andains étanchés	Excavations et terrassements (m3)	8700	25 €	217 500 €
		Nivellement/mise en forme (m²)	6500	10 €	65 000 €
		Apport de compost (m3)	2750	30 €	82 500 €
		Hydroseeding herbacées (m²)	6500	4 €	26 000 €
		Arbustes (unité)	950	50 €	47 500 €
		Graminées (unité)	19500	3 €	58 500 €
		Etanchéité (m²)	5500	40 €	220 000 €
		Total			717 000 €
Noues plantées	- Noues faisant le tour des andains puis les liants aux Jardins Filtrants puis aux zones humides - Environ 4500 m² projection sol, 5000 m² surface réelle, et 1m de profondeur donc 4500m3 environ - Noues plantées pour avoir une couverture végétale maximale - Noues étanchées et clôturées, à l'exception de la grande noue centrale qui ne sera pas clôturée. Clôtures sur 2000	Excavations et terrassements (m3)	4500	25 €	112 500 €
		Nivellement/mise en forme (m²)	5000	10 €	50 000 €
		Apport de compost (m3)	900	30 €	27 000 €
		Hydroseeding herbacées (m²)	5000	4 €	20 000 €
		Graminées/macrophytes (unité)	2000	3 €	6 000 €
		Etanchéité (m²)	5000	40 €	200 000 €
		Clôtures basses	2000	50 €	100 000 €
		Total			515 500 €
Filtres plantés	- 3 filtres plantés de traitement - 1500 m² projection sol donc 1700 m² surface réelle et environ 1700 m3 de volume - Plantations classiques Jardins Filtrants - Filtres plantés étanchés - Fonctionnement hydraulique classique avec drains et regards - Clôture basse sur le périmètre (hors périmètre du jardin filtrant Est, comptabilisé dans les clôtures paturages) Périmètre concerné 120 ml	Excavations et terrassements (m3)	1700	25 €	42 500 €
		Nivellement/mise en forme (m²)	1400	10 €	14 000 €
		Apport de compost (m3)	260	30 €	7 800 €
		Hydroseeding herbacées (m²)	1400	4 €	5 600 €
		Plantations macrophytes (unité)	7000	3 €	21 000 €
		Substrat (m3)	650	80 €	52 000 €
		Enrochements (m2)	90	150 €	13 500 €
		Canalisation PVC (ml)	90	45 €	4 050 €
		Drains (ml)	90	20 €	1 800 €
		Regards (un par jardin filt)	3	500 €	1 500 €
		Etanchéité (m²)	1400	40 €	56 000 €
		Clôtures basses	120	50 €	6 000 €
		Total			225 750 €
		Paturages	- 3 zones de pâturages. Sur 9500 m², prairies paturages diversifiées avec paturage ovin. Apport de terre végétale - Clotures basses pour paturages ovins sur 400 ml	Apport terre végétale (m3)	950
Hydroseeding herbacées (m²)	9500			4 €	38 000 €
Graminées (u)	5000			3 €	15 000 €
Clotures basses	400			50 €	20 000 €
Total					92 000 €
Prairies	Plantation d'une prairie mésohygrophile sur 13 000 m² avec apport de terre végétale	Apport terre végétale (m3)	1300	20 €	26 000 €
		Hydroseeding herbacées (m²)	13000	4 €	52 000 €
		Graminées (u)	6000	3 €	18 000 €
		Total			96 000 €
Zone biomasse	- Plantation d'une culture de Miscanthus (ou autres espèces à définir) sur 4700 m² avec apport de terre végétale (10000 euros/ha) avec main d œuvre et avec	Plantation Miscanthus (ha)	0,47	10 000,00 €	4 700 €
		Clôtures basses	275	100,00 €	27 500 €
		Total			32 200 €
Vergers/potagers expérimentaux	- Pépinières/Vergers sur 4600 m² de surface - Vergers sur 2300 m² avec une densité de 200 arbres/ha - Pépinière sur 2300 m² avec une densité de 2 plants/m² - Apport de terre végétale et plantation d'espèces comestibles	Arbres pour les vergers	46	50 €	2 300 €
		Végétaux pépinière	4600	5 €	23 000 €
		Terre végétale	400	25 €	10 000 €
		Clôtures hautes	280	100 €	28 000 €
		Total			63 300 €
Autres aménagements					
Panneaux pédagogiques	Entre 5 et 7 panneaux pédagogiques sur site	Total	6	500 €	3 000 €
Haies et zone arbustive	- Plantation d'environ 100 arbres de hauteur moyenne pour les haies et les aménagements de la zone - Zone arbustive de 0.5 ha conservée et densifiée à l'Est du site via plantation arbres/arbustes (une quarantaine) et couvert végétal	Arbres/Arbustes	140	70 €	9 800 €
		Graminées	2000	3 €	6 000 €
		Total			15 800 €
Platelage	Platelage avec garde-corps bois et surélévation/pilotis Linéaire 40m Largeur 2,5m Surface 100 m²	Total	100	300 €	30 000 €
Gîtes à reptiles	4 gîtes à reptiles	Total	4	350 €	1 400 €
Traitement Renouée du Japon / Robinier faux-acacia / Buddleja	CF plan de gestion ECOLOR Surface concernée d'environ 200 m²	Total	400	15 €	6 000 €
Zones humides	- Surface 2500 m² - Végétalisation dense - Clôtures basses sur les deux zones humides Ouest, pour un périmètre de 175 ml	Excavations et terrassements (m3)	5000	25 €	125 000 €
		Nivellement/mise en forme (m²)	2500	10 €	25 000 €
		Hydroseeding herbacées (m²)	3000	4 €	12 000 €
		Graminées/macrophytes (unité)	5000	3 €	15 000 €
		étanchéification via couche argile (m3)	900	20 €	18 000 €
		Clôtures basses	175	50 €	8 750 €
		Total			203 750 €
Total (€ HT)					2 001 700 €
Aménagements liés à la gestion des pollutions					1 741 750 €
Autres aménagements					259 950 €

Tableau 27 : Détail de l'estimation des coûts d'entretien et suivi après travaux de dépollution et d'aménagements sur 10 années

Aménagement	Commentaire/Détail	Détail	Coût 1ère année	Coût 2ème année	Coût 3ème année	Coût 4ème année	Coût 5ème année	Coût 6ème année	Coût 7ème année	Coût 8ème année	Coût 9ème année	Coût 10ème année
Andains plantés	- Assurances reprise végétaux égale à 15% du prix des plantations sur les deux premières années - Surveillance visuelle croissance végétaux et fonctionnement hydraulique des noues + Arrosage (2/semaine en été, 1/semaine en automne et printemps, 0 en hiver) surtout les premières années + Dés herbages (environ 10 fois/an) + Fauches (environ 1 par an en moyenne)	Assurance reprise végétaux	23 700 €	23 700 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Noues plantées		Surveillance + Arrosage + Désherbage + Fauche	31 600 €	28 440 €	25 596 €	23 036 €	20 733 €	20 733 €	20 733 €	20 733 €	20 733 €	20 733 €
Filtres plantés	- Assurances reprise végétaux égale à 15% du prix des plantations sur les deux premières années - Surveillance visuelle croissance végétaux et fonctionnement hydraulique du Jardin Filtrant + Dés herbages (environ 10 fois/an) + Fauches (environ 1 par an en moyenne) - Curage tous les 7 ans avec traitement en filière spécialisée (évacuation d'environ 100 tonnes de tourbe), suivi d'une replantation des filtres	Assurance reprise végétaux	3 990 €	3 990 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
		Surveillance + Désherbage + Fauche	5 320 €	4 788 €	4 309 €	3 878 €	3 490 €	3 490 €	3 490 €	3 490 €	3 490 €	3 490 €
		Curage	- €	- €	- €	- €	- €	- €	40 000 €	- €	- €	- €
Paturages	- Assurances reprise végétaux égale à 15% du prix des plantations sur les deux premières années - Surveillance visuelle croissance végétaux + Arrosage (2/semaine en été, 1/semaine en automne et printemps, 0 en hiver) surtout les premières années puis pour l'entretien du couvert végétal - Paturage ovins ou autres à l'année, 0.5€/m²	Assurance reprise végétaux	7 950 €	7 950 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
		Surveillance + Arrosage	2 650 €	2 385 €	2 147 €	1 932 €	1 739 €	1 739 €	1 739 €	1 739 €	1 739 €	1 739 €
		Paturage ovins	4 750 €	4 750 €	4 750 €	4 750 €	4 750 €	4 750 €	4 750 €	4 750 €	4 750 €	4 750 €
Prairies	- Assurances reprise végétaux égale à 15% du prix des plantations sur les deux premières années - Surveillance visuelle croissance végétaux + Arrosage (2/semaine en été, 1/semaine en automne et printemps, 0 en hiver) surtout lles premières années puis pour l'entretien du couvert végétal + Dés herbages (environ 10 fois/an) + Fauches (environ 1 par an en moyenne)	Assurance reprise végétaux	10 500 €	10 500 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
		Surveillance + Arrosage + Désherbage + Fauche	14 000 €	12 600 €	11 340 €	10 206 €	9 185 €	9 185 €	9 185 €	9 185 €	9 185 €	9 185 €
Haies et zone arbustive	- Assurances reprise végétaux égale à 15% du prix des plantations sur les deux premières années - Surveillance visuelle croissance végétaux + Arrosage (2/semaine en été, 1/semaine en automne et printemps, 0 en hiver) surtout les premières années + Désherbage	Assurance reprise végétaux	2 370 €	2 370 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
		Surveillance + Arrosage + Désherbage	3 160 €	2 844 €	2 560 €	2 304 €	2 073 €	2 073 €	2 073 €	2 073 €	2 073 €	2 073 €
Zone biomasse	- Assurances reprise végétaux égale à 15% du prix des plantations sur les deux premières années - Surveillance visuelle croissance végétaux + Dés herbages (environ 10 fois/an) + Fauches (environ 1 par an en moyenne)	Assurance reprise végétaux	705 €	705 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
		Surveillance + Désherbage + Fauche	940 €	846 €	761 €	685 €	617 €	617 €	617 €	617 €	617 €	617 €
Vergers/potagers expérimentaux	Gestion via GISFI ou autre partenariat de recherche, mission de suivi incluant l'entretien, environ 25 000€ sur 5 ans	Mission Gisfi ou autre partenariat de recherche	5 000 €	5 000 €	5 000 €	5 000 €	5 000 €	- €	- €	- €	- €	- €
Suivi qualités sols/eaux	Mission globale comprenant : - Analyses des sols des andains 1 fois/an - Analyse des eaux des 2 zones humides 2 fois/an - Analyse des couvertures végétales sur l'ensemble du site - Rapport complet	Analyses sols/eau + couvertures végétales et rapport associé	7 000 €	7 000 €	7 000 €	7 000 €	7 000 €	7 000 €	7 000 €	7 000 €	7 000 €	7 000 €
Total (€ HT)			123 635 €	117 868 €	63 463 €	58 791 €	54 587 €	49 587 €	89 587 €	49 587 €	49 587 €	49 587 €

10. ANALYSE DES IMPACTS ECOLOGIQUES DU PROJET (ECOLOR)

Dans le cadre du projet de requalification de la friche KLEBER, ou de tout autre aménagement, les effets attendus sur l'environnement sont les suivants :

- **les impacts directs** qui traduisent les conséquences immédiates du projet dans l'espace et dans le temps. Parmi les effets directs du projet, il convient d'appréhender les effets dus à la consommation d'espace.
- **les impacts indirects** qui résultent d'une relation de cause à effet ayant, à l'origine, un effet direct. Ils comprennent la fragmentation des écosystèmes, leur dégradation physico-chimique (eau, air, bruit, lumière, poussières, etc.), leurs perturbations hydrologiques (captage des sources, drainage en amont des zones humides...) ainsi que la dégradation des écosystèmes induisant une perte indirecte d'habitats en diminuant la capacité de maintien de la biodiversité originelle. La fragmentation des habitats correspond quant à elle à une simplification de la matrice paysagère en territoires plus isolés, de tailles plus petites.

NOTA : le projet de requalification de la friche KLEBER ne vise aucunement à artificialiser le site, mais à réduire, voire à supprimer la pollution du site tout en conservant les enjeux écologiques par des mesures de gestion adaptées.

Pour chacun de ces impacts, une approche de leur durée doit compléter l'évaluation de l'impact du projet. Seront donc définis systématiquement les impacts permanents et temporaires :

- **les impacts permanents** sont dus à l'aménagement même du projet ou à ses effets fonctionnels ;
- **les impacts temporaires de la phase travaux** sont limités dans le temps mais peuvent avoir un impact fort sur la biodiversité, notamment en fonction des cycles biologiques saisonniers des espèces végétales et animales.

10.1. ELEMENTS ET METHODE

Les impacts sont évalués en confrontant l'état initial avec l'emprise des aménagements. Ils sont appréciés en termes de perte d'espaces naturels patrimoniaux ou de destruction d'espèces patrimoniales, de coupure des déplacements, de viabilité des populations et de fragmentation des habitats par les effets directs et indirects de l'aménagement. L'évaluation dépend en grande partie des caractéristiques intrinsèques des habitats et de l'écologie des espèces.

Dans cette analyse, la reproductibilité réelle des habitats et les possibilités de restauration des sites (ex : récréation plus facile d'un plan d'eau que d'une prairie naturelle) seront prises en compte. L'analyse tiendra compte des zones potentielles de dépôts temporaires ou définitifs. Cette analyse différenciera les impacts de la phase des travaux et des aménagements annexes (zones d'emprunts et de dépôts), les impacts réductibles du projet et les impacts non réductibles nécessitant la prise de mesures de compensation.

Ces impacts seront quantifiés en surface, en linéaire, en nombre de déplacements, en risque de mortalité, en enclavement de terrain de chasse et si possible en nombre d'espèces ou d'individus. L'appréciation des impacts s'effectue selon l'échelle ci-après :

Impact fort	Impact non significatif
Impact moyen	Impact nul
Impact faible	

L'analyse des impacts a été réalisée en superposant l'emprise totale du projet de requalification avec la cartographie des habitats biologiques et des espèces protégées et patrimoniales.

Cette analyse différencie les impacts permanents directs induits par le projet de requalification et les impacts temporaires indirects et/ou induit par la phase des travaux. Elle détaille les mesures de suppression/évitement et les mesures de réduction des impacts.

Une synthèse générale permet de conclure sur les mesures à mettre en œuvre pour éviter, réduire, voire compenser les impacts.

10.2. EMPRISE DU PROJET

Le projet de requalification de la friche Kleber a évolué en fonction des inventaires faune-flore et des diagnostics de pollution des sols réalisés sur site.

Trois objectifs ont été visés :

- La suppression des principaux noyaux de pollutions ;
- La conservation des enjeux faune-flore ;
- L'accueil du public.

En faveur de la biodiversité et des espèces patrimoniales connues sur site (Crapaud calamite) des aménagements spécifiques à la faune ont été intégrés au projet :

- Création d'une mare permanente dans la partie centrale du site ;
- Conservation d'une zone refuge (fourré dense et prairie eutrophe) ;
- Diverses plantations arborées et bocagères ;
- Conservation et/ou création d'espaces prairiaux gérés par pâturage ou fauche ;
- Point d'observations pédagogiques pour les usagers.

Les résultats des inventaires naturalistes ont fait évoluer le projet afin de le rendre compatible avec la conservation des espèces protégées et/ou patrimoniales recensées :

- Création de deux mares permanentes végétalisées en faveur des amphibiens comme le Triton alpestre et le Crapaud commun ;
- Création de deux mares temporaires en zone pâturée pour le Crapaud calamite ;
- Concentration des accès aux usagers dans la partie Ouest du site ;
- Mise en place d'une large zone de quiétude en faveur des espèces sensibles aux dérangements comme la Pie-grièche écorcheur et le Tarier pâtre.

10.3. ESPACES PATRIMONIAUX

Le projet de requalification de friche KLEBER n'interfère avec aucun espace patrimonial.

10.4. HABITATS BIOLOGIQUES

10.4.1. Impact direct et permanent

Trois habitats patrimoniaux seront impactés par le projet de requalification de la friche Kleber :

- 0,0013 ha (13 m²) de mare dont l'état de conservation est mauvais ;
- 0,13 ha friches humides à joncs sur remblais dont l'état de conservation est mauvais.

Les arbres d'alignement seront conservés, ils pourront être taillés ou abattu si un risque de chute d'arbre ou de branche est signalé.

L'impact direct permanent est considéré comme faible pour la mare et les friches humides à joncs sur remblais et comme non significatif pour les 24 arbres d'alignements.

Parmi les habitats banals en mauvais état de conservation, la friche arbustive à l'Est du site sera conservée comme zone de refuge ainsi qu'une prairie de fauche.

Le projet prévoit une grande diversification des habitats biologiques ainsi qu'une dépollution des principaux noyaux de pollution.

L'impact direct permanent sur les habitats biologiques banals est considéré comme non significatif au vu des améliorations écologiques prévues sur le site.

10.4.2. Impact direct et temporaire

Les impacts lors de la réalisation des travaux sont liés :

- au passage d'engins hors emprise ;
- au stockage temporaire ou permanent de matériaux sur les habitats naturels à proximité immédiate.

La majorité des habitats biologiques environnant présentent un enjeu faible. Notons toutefois la présence de plusieurs arbres d'alignement en limite Sud du projet.

L'impact direct temporaire sur les habitats biologiques est considéré comme **moyen et négligeable pour les autres habitats biologiques.**

10.4.3. Impact indirect

Le projet prévoit une diversification des habitats biologiques par la plantation d'un réseau de haies arbustives, de vergers, d'arbres épars et la création de deux mares de surface importante.

Quelques zones de biomasse non accessibles avec couvert de végétation phyto-épuratrice (*Miscanthus*, *Stipa* et *Carex*) seront implantés ici et là sur la zone du projet pour la dépollution du sol avant rejet dans les mares.

Les impacts indirects du projet sur les habitats biologiques sont considérés comme **positifs. Une nette amélioration de la qualité des habitats biologiques est attendue sur site par la mise en place de ce projet.**

10.5. ZONES HUMIDES

10.5.1. Impact direct permanent et temporaire

Le projet de requalification de la friche Kléber porte un impact direct et permanent sur 0,03 ha de friche humide considéré comme très faiblement fonctionnelle (présence d'eau temporaire sur environ 6m²).

Concernant la rubrique 3.3.1.0, des travaux réglementés en zones humides, la zone asséchée est inférieure à 0,1 ha, elle n'est donc pas soumise à déclaration.

10.5.2. Impact indirect

Le projet de requalification de la friche Kleber prévoit une diversification des habitats biologiques dont la création de deux grandes mares (code EUNIS – C1.63) d'environ 1 635 m² et de deux dépressions humides similaires à la mare temporaire qui sera impactée (Code EUNIS – C1.63) d'une surface totale d'environ 0,005 ha (50m²).

Le projet de requalification prévoit un gain quantitatif et qualitatif sur les zones humides :

- Augmentation du nombre de zones humides (mares temporaires et/ou permanentes -> implantation et développement naturelle d'une végétation caractéristique des zones humides) ;
- Amélioration des fonctions écologiques par l'augmentation de la surface des zones humides ;
- Atteintes des fonctions physiques et biogéochimiques : élimination des polluants (ex : métaux lourds) et régulation des éléments nutritifs (azote, nitrates, phosphates), ...

L'impact indirect du projet de requalification sur la friche Kleber est considéré comme **positif**.

10.6. ESPECES VEGETALES

10.6.1. Impact direct permanent et temporaire

Aucune espèce végétale patrimonial et/ou protégée n'est présente sur le site KLEBER.

L'impact direct permanent et temporaire sur les espèces végétales est considéré comme non significatif.

NOTA : la gestion des espèces invasives devra être réalisée avant le début des aménagements de phytoremédiation afin d'éviter toute expansion de ces espèces au sein du site, qui pourrait être favorisée par les travaux d'excavation, la circulation des engins ou autres.

10.6.2. Impact indirect

Le projet prévoit une lutte contre les espèces invasives présentes sur le site : Renouée du Japon, Buddleja, Sénéçon Sud-africain et Robinier faux-acacia.

Les espèces végétales phytoépuratrices qui seront utilisées pour la dépollution des sols devront autant que possible cibler des espèces végétales que l'on trouve naturellement dans le Grand-Est.

L'impact indirect du projet sur les espèces végétales est considéré comme **positif notamment par la mise en place d'un programme de lutte contre les espèces végétales invasives.**

10.7. AVIFAUNE NICHEUSE

10.7.1. Impact direct et permanent sur les individus d'espèces protégées

Selon le phasage du chantier, les aménagements sont susceptibles d'avoir un impact direct sur les individus d'oiseaux protégés, s'ils interviennent pendant la période de reproduction (entre avril et août) entraînant un risque de destruction des nichées et/ou un abandon du nid, et de ce fait pouvant remettre en cause le bon accomplissement des cycles biologiques des espèces.

Durant la période de reproduction, les structures arborées et arbustives (haies, bosquets...) peuvent abriter des individus sensibles (inaptes à la fuite : œufs, oisillons...) d'espèces protégées d'oiseaux. Les interventions sur ces structures (coupe, taille, abattage, dessouchage, débroussaillage) entraînent donc un risque de destruction d'individus d'espèces protégées.

Le risque d'impact direct concerne donc les individus d'espèces liées aux éléments arbustifs présents sur le site.

L'impact direct permanent sur les individus d'espèces protégées est considéré comme **moyen pour les raisons suivantes :**

- peu d'éléments arborés à abattre ou à défricher : 0,5 ha sur 1,04 ha, dont majoritairement des boisements de recolonisation comme les friches à Saules marsaults, à rosiers qui sont à ce stade, peu favorable à la nidification des espèces du cortège des haies et lisières, donc des habitats peu susceptibles d'accueillir des espèces protégées ;
- conservation de 0,54 ha de fourrés arbustifs dans la partie Est du site.

10.7.2. Impact direct et temporaire sur les individus d'espèces protégées

Les impacts temporaires concernent essentiellement le dérangement occasionné pendant les travaux. En effet, la période, où le risque de dérangement pour l'avifaune nicheuse est le plus élevé, correspond à la période de nidification. Durant cette période, les oiseaux ont besoin d'un maximum de quiétude et d'un minimum de stress.

La réalisation de tout type de travaux pendant cette période (terrassement, construction, entretien) entraînerait un risque d'abandon du site par les oiseaux nicheurs ou influencerait de façon importante le taux de réussite de la reproduction.

Par ailleurs, le niveau des impacts peut être accru lors de la réalisation des travaux, notamment par le passage d'engins hors emprise du projet ou par le stockage temporaire ou permanent de matériaux sur les habitats naturels des espèces protégées ou à proximité immédiate.

L'impact direct temporaire sur les individus d'espèces protégées est considéré comme **moyen** avant proposition de mesures d'évitement/réduction. Quelques éléments arborés sont présents aux alentours du périmètre du projet et peuvent abriter des individus d'espèces protégées et notamment d'espèces patrimoniales comme la Pie-grièche écorcheur.

10.7.3. Impact direct et permanent sur les habitats d'espèces d'oiseaux protégés

Au total, ce sont 0,36 ha d'habitats d'oiseaux protégés qui seront défrichés dans le cadre du projet (voir liste des impacts dans le tableau ci-après).

Tableau 28 : Liste des habitats d'oiseaux protégés impactés par le projet

Nom	Corine Biotope / EUNIS	Surface (ha)	Surface impact direct (ha)	Cortège avifaune
Friche arbustive	31.81 F3.11	0,69	0,15	Haies et lisières
Recolonisation de Saule marsault	31.81 / F3.11	0,13	0,13	
Roncier	31.83 / F3.11	0,068	0,068	
Friche à rosier	31.83 / F3.11	0,013	0,013	
Surface totale		1,04	0,36	

L'impact direct permanent sur les habitats d'espèces protégées est considéré comme **faible** pour les mêmes raisons suivantes :

- le projet qui prévoit une renaturation favorable à l'avifaune avec une diversification des habitats semi-ouverts qui prévoit d'être plus riches que l'état initial (voir figure ci-après) ;
- peu d'éléments arborés à abattre ou à défricher : 0,36 ha sur 1,04 ha, dont majoritairement des boisements de recolonisation comme les friches à Saules marsaults, à rosiers qui sont à ce stade, peu favorable à la nidification des espèces du cortège des haies et lisières.
- conservation de 0,54 ha de fourrés arbustifs dans la partie Est du site et conservation des arbres d'alignements dont 3 arbres à cavités.

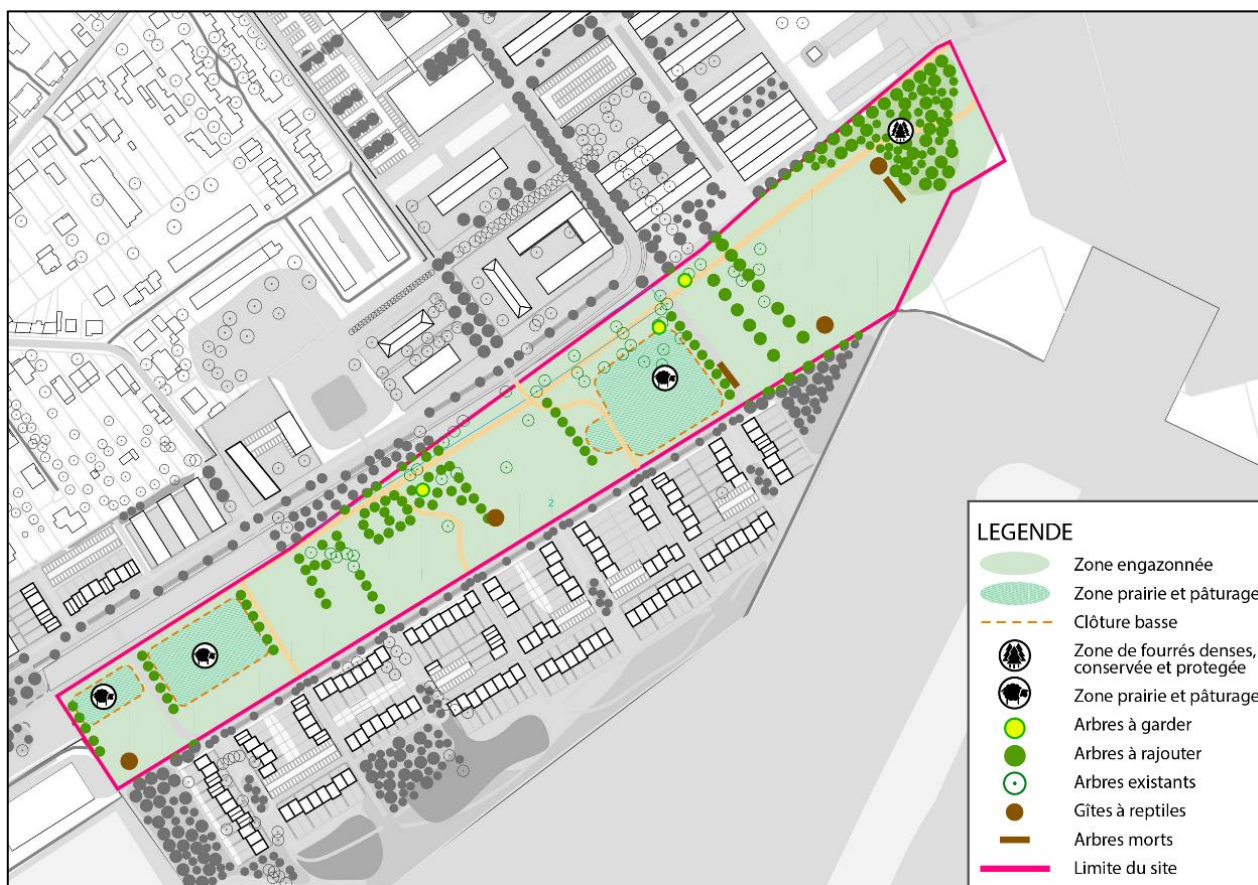


Figure 31 : Habitats semi-ouverts prévus dans le cadre du projet (source : Phytorestore)

10.7.4. Impact direct temporaire sur les habitats d'espèces protégées

Le niveau des impacts peut être accru lors de la réalisation des travaux, notamment par le passage d'engins hors emprise du projet ou par le stockage temporaire ou permanent de matériaux sur les habitats naturels des espèces protégées ou à proximité immédiate.

L'impact direct et temporaire est considéré comme **moyen** car présence d'éléments arborés présents en périphérie de la zone du projet (arbres à cavités, fourrés, etc.).

10.7.5. Impact indirect

Le projet de requalification de la friche KLEBER prévoit la création d'une mosaïque d'habitats herbacés séparés par un réseau de haies arbustives alternés ici et là par la plantation d'arbres.

Cette mosaïque d'habitats ouverts est très favorable aux espèces du cortège des haies et lisières recensées au sein du site.

Un pâturage ovin sera maintenu sur plusieurs prairies du site, permettant de conserver des zones de prairies rases appréciées par la **Pie-grièche écorcheur** et le **Tarier pâtre**.

Afin de minimiser le dérangement lié aux usagers du site sur l'avifaune nicheuse, les accès (zones de loisirs, de promenades et de pique-nique) seront limités à la partie Ouest du site ce qui permet ainsi de conserver plus de la moitié du site en zone de quiétude ou de faible dérangement, nécessaire pour le maintien d'espèce comme la **Pie-grièche écorcheur** et le **Tarier pâtre**.

Les aménagements prévus dans le projet auront un impact indirect **positif** sur l'avifaune nicheuse.

10.8. AVIFAUNE HIVERNANTE ET MIGRATRICE

10.8.1. Impact direct permanent et temporaire

Aucune espèce menacée et aucun regroupement significatif d'oiseaux n'est à signaler sur la zone du projet.

Les espaces semi-naturels périphériques sont suffisamment vastes pour permettre aux oiseaux de s'y réfugier durant les aménagements.

Aucun impact significatif n'est à signaler sur l'avifaune hivernante et migratrice.

10.8.2. Impact indirect

Les aménagements bénéfiques à l'avifaune nicheuse le seront également pour l'avifaune hivernante et migratrice.

Les aménagements prévus dans le projet auront un impact indirect positif sur l'avifaune hivernante et migratrice.

10.9. ENTOMOFAUNE

10.9.1. Impact direct permanent et temporaire sur les individus d'espèces protégées et leur habitat

Aucune espèce protégée n'a été recensée au droit du site.

Un impact temporaire sur les friches herbacées (habitat d'espèces d'insectes patrimoniaux non protégés) du site est attendue en phase travaux suite aux différents aménagements. En revanche, le projet prévoit la mise en place d'un maillage de prairies de fauche et pâturées. Les espèces patrimoniales recensés lors de l'état initial, viendront recoloniser via les nombreuses friches herbacées limitrophes et alentours non impactés par le projet.

Une gestion adaptée à l'entomofaune devra être mise en place (fauche tardives, zones refuges alternées, pâturage extensif, etc.) ce qui favorisera les espèces patrimoniales les plus exigeantes.

L'impact direct permanent et temporaire sur l'entomofaune patrimoniale non protégée et sur l'entomofaune ordinaire est considérée comme non significatif.

10.9.2. Impact indirect

Le projet prévoit une mosaïque d'habitats herbacés qui seront par la mise en place de gestion douce, favorables à la diversité entomologique.

La création de plusieurs habitats aquatiques (mare permanentes et temporaires) favorisera de nouveaux groupes taxonomiques comme les odonates, les coléoptères et les invertébrés d'eau douce : Éphémères et Trichoptères.

L'impact indirect du projet sur l'entomofaune est considéré comme positif.

10.10. MAMMIFERES

Aucune espèce de mammifères protégées n'a été recensée au sein du site.

L'impact du projet sur les mammifères (hors chiroptères) est considéré comme nul.

10.11. CHIROPTERES

10.11.1. Impact direct et permanent sur les individus d'espèces protégées et leur habitat

Tous les arbres à cavités présents dans la zone du projet seront conservés.

Le projet prévoit le maintien d'un fourré dense dans la partie Est du site et la plantation d'un réseau de haies et d'arbres venant ainsi enrichir les espaces ouverts initiaux du site.

L'impact direct permanent est considéré comme nul pour les individus de chauves-souris.

10.11.2. Impact direct et temporaire sur les individus d'espèces protégées et leur habitat

Durant la phase travaux, les arbres à cavités limitrophes au site peuvent être impactés si aucune signalisation n'est faite concernant la présence de 8 arbres au nord du site dont 5 directement limitrophes.

L'impact direct temporaire sur les individus de chiroptères et leur habitat est considéré comme **moyen**. Des mesures devront être mises en place pour s'assurer de la signalisation et de la conservation des arbres à cavités limitrophes.

10.11.3. Impact indirect

Le projet prévoit la création de plusieurs mares dont deux mares permanentes qui est un excellent moyen d'augmenter la diversité entomologique du site et d'attirer ainsi les chauves-souris qui viendront s'y nourrir et s'abreuver.

La plantation d'un réseau de haies et d'arbres viendra également enrichir les espaces ouverts initiaux du site, créant ainsi des corridors et zones de chasse pour les chauves-souris.

L'impact indirect du projet sur les chauves-souris peut être considéré comme positif.

10.12. REPTILES

10.12.1. Impact direct et permanent sur les individus d'espèces protégées

Les aménagements sont prévus sur environ 80% de la surface du site dans laquelle de nombreux micros-habitats sont utilisés par le Lézard des murailles : troncs d'arbres, souches, cavités, tas de bois, etc.

Le Lézard vivipare est observé au bord de la mare temporaire en limite Sud-Ouest du site. Il fréquente des habitats plus frais et moins exposés que le Lézard des murailles.

Au vu de la répartition et notamment celle du Lézard des murailles sur le site et ses abords proches, le risque de destruction d'individus est élevé.

L'impact direct permanent et temporaire sur les individus de Lézard des murailles et de Lézard vivipare est considéré comme fort.

10.12.2. Impact direct permanent et temporaire sur les habitats d'espèces protégées

Lézard des murailles

L'emprise du projet concentre principalement des micros-habitats présents ici et là avec peu d'individus à hauteur de chacun d'eux et notamment des micros-habitats liés aux bois morts laissés sur place. Le gros des effectifs est recensé en

Plan de Gestion

REQUALIFICATION DE LA FRICHE KLEBER (ESSEY-LES-NANCY) PAR PHYTOMANAGEMENT DE LA POLLUTION

direction des bâtiments militaires au nord-est du périmètre du projet, sur les tas de pierres concassés et notamment à hauteur d'une longue dalle bétons avec présence de nombreuses cavités. Cette dernière compte plusieurs dizaine d'individus.

L'impact peut être accru si les zones de stockage sont choisies en dehors de la zone du projet et notamment sur des zones particulièrement favorables aux Lézard des murailles.

L'impact direct permanent sur les habitats du Lézard des murailles est considéré comme **moyen au droit de la zone du projet et comme **fort** en limite Nord et Nord-Est de la zone du projet.**

Lézard vivipare

La zone du projet ne présente aucun habitat intéressant pour le Lézard vivipare si ce n'est le complexe lisière et zones humides avec présence de la mare temporaire en limite Sud-Ouest du site. Secteur où l'espèce a été observée. Le reste de la zone du projet est très ouverte et les habitats plutôt thermophiles.

Des zones plus fermées et clairiérées sont présentes au sud et à l'ouest du site et semble mieux convenir à cette espèce.

L'impact direct permanent sur les habitats du Lézard vivipare est considéré comme **faible au droit de la zone du projet et aux abords proches.**

10.12.3. Impact indirect

Aucun impact indirect n'est à signaler.

10.13. AMPHIBIENS

10.13.1. Impact direct permanent et temporaire sur les individus d'espèces protégées

Le Crapaud commun et le Triton alpestre sont recensés au droit de la zone du projet dans de la mare temporaire. Le Crapaud calamite est recensés sur des dépressions d'eau temporaire non loin du site (40 m au sud). Il reste considéré comme une espèce potentiellement reproductrice sur le site.

Ces trois espèces sont susceptibles d'être présentes dans la zone du projet durant tous les périodes de l'année (hibernation – reproduction – phase terrestre).

Le risque de destruction d'individus est élevé durant la phase travaux et peut être accru si les zones de stockage sont choisies en dehors de la zone du projet et notamment au droit des habitats aquatiques temporaires recensés à proximité.

L'impact direct permanent et temporaire sur les individus d'amphibiens est considéré comme **fort.**

10.13.2. Impact direct permanent et temporaire sur les habitats d'espèces protégées

Les aménagements auront un impact direct permanent sur une mare temporaire qui est un habitat de reproduction du Crapaud commun, du Crapaud calamite et du Triton alpestre.

Cet impact direct permanent peut être accru si les zones de stockage sont choisies en dehors de la zone du projet et notamment au droit des habitats aquatiques temporaires recensés à proximité.

L'impact direct permanent et temporaire sur l'habitat d'individus d'espèces protégées est considéré comme **fort.**

10.13.3. Impact indirect

Le projet de requalification de la friche Kleber prévoit la création de deux grandes mares végétalisées pour le Triton alpestre et le Crapaud commun et de deux mares temporaires en prairies pâturées en faveur du Crapaud calamite. Ces habitats aquatiques viendront enrichir la disponibilité en site de reproduction pour les amphibiens, ce qui permettra de pérenniser ces espèces sur le site.

L'impact indirect du projet sur les amphibiens peut être considéré comme **positif**.

NOTA : Une réflexion plus globale doit être menée dans le cadre des futurs aménagements en projet autour de la friche Kleber qui peuvent avoir un effet négatif sur la population d'amphibiens en l'isolant. Des corridors végétalisés doivent être maintenus et des accès sous les routes (batrachoducs) doivent être envisagés pour garantir des échanges entre les métapopulations d'amphibiens à l'échelle locale.

10.14. TRAME VERTE ET BLEUE

10.14.1. Impact direct permanent et temporaire

Le projet prévoit la conservation d'un fourré dense, le maintien de zones prairiales et un renforcement d'habitats aquatiques et arborés.

Des mesures de gestions permettront de garantir le maintien des espèces patrimoniales recensées sur site.

L'impact direct permanent et temporaire est considéré comme **positif** sur la trame verte et bleue.

10.14.2. Impact indirect

Le projet prévoit une amélioration de la trame verte et bleue à l'échelle locale.

Comme vu précédemment, une réflexion plus globale doit être menée dans le cadre des futurs aménagements en projet autour de la friche Kleber qui peuvent avoir un effet négatif sur la population d'amphibiens et de reptiles du site en les isolant. Des corridors végétalisés doivent être maintenus et des accès sous les routes (batrachoducs) doivent être envisagés pour garantir des échanges entre les métapopulations d'herpétofaune à l'échelle locale.

Le projet de requalification de la friche Kleber aura un impact indirect **positif**.

10.15. SYNTHÈSE DES IMPACTS

Le tableau ci-dessous dresse la liste de l'ensemble des impacts identifiés nécessitant ou non la mise en place de mesures environnementales.

Tableau 29 : Synthèse des impacts

Groupe ment biologiques	Impact initial	Mesures environnementales
Zonages environnementaux	Impact direct et permanent : Nul	/
	Impact direct et temporaire : Nul	/
	Impact indirect : Positif	/
Habitats biologiques	Impact direct et permanent : Faible à moyen	OUI
	Impact direct et temporaire : Négligeable à moyen	OUI
	Impact indirect : Positif	/
Zones humide	Impact direct et permanent : Non significatif	/
	Impact direct et temporaire : Non significatif	/
	Impact indirect : Positif	/

Plan de Gestion

REQUALIFICATION DE LA FRICHE KLEBER (ESSEY-LES-NANCY) PAR PHYTOMANAGEMENT DE LA POLLUTION

Groupe ment biologiques	Impact initial	Mesures environnementales
Végétation	Impact direct et permanent : Non significatif	/
	Impact direct et temporaire : Non significatif	/
	Impact indirect : Positif	/
Avifaune	Impact direct et permanent - individus : Moyen	OUI
	Impact direct et temporaire – individus : Moyen	OUI
	Impact direct et permanent – habitats : Faible	OUI
	Impact direct et temporaire – habitats : Moyen	OUI
	Impact indirect : Positif	/
Avifaune migratrice et hivernante	Impact direct et permanent : Non significatif	/
	Impact direct et temporaire : Non significatif	/
	Impact indirect : Positif	/
Entomofaune	Impact direct et permanent : Non significatif	/
	Impact direct et temporaire : Non significatif	/
	Impact indirect : Positif	/
Mammifères terrestre	Impact direct et permanent : Nul	/
	Impact direct et temporaire : Nul	/
	Impact indirect : Nul	/
Chiroptères	Impact direct et permanent - individus : Nul	OUI
	Impact direct et permanent – habitat : Nul	OUI
	Impact direct et temporaire - individus : Moyen	OUI
	Impact direct et temporaire – habitat : Moyen	OUI
	Impact indirect : Positif	/
Amphibiens	Impact direct permanent et temporaire - individus : Fort	OUI
	Impact direct permanent et temporaire - habitat : Fort	OUI
	Impact indirect : Positif	/
Reptiles	Impact direct et permanent - individus : Fort	OUI
	Impact direct et temporaire – individus : Fort	OUI
	Impact direct et permanent – habitats : Moyen	OUI
	Impact direct et temporaire – habitats : Fort	OUI
	Impact en phase d'exploitation : Nul	/
Trame verte et bleue	Impact direct et permanent : Positif	/
	Impact direct et temporaire : Faible	OUI
	Impact indirect : Positif	

Seuls les éléments pour lesquels des impacts ont été identifiés sont traités dans le chapitre suivant.

11. MESURES D'EVITEMENT / REDUCTION

11.1. EN FAVEUR DES HABITATS BIOLOGIQUES

Aucun impact au sens réglementaire (hors cadre des zones humides dont les mesures sont présentées au paragraphe suivant) n'est à signaler pour les habitats.

Les aménagements inclus dans le projet de requalification de la friche Kleber prévoient une forte diversification des habitats biologiques :

- Création de deux grandes mares permanentes [code EUNIS : C1.3] ;
- Création de deux mares temporaires [code EUNIS : C1.6] ;

- Plantation de haies et bosquets arbustifs [code EUNIS : F3.11] ;
- Plantation arborée [code EUNIS : G5.1] ;
- Création d'une prairie humide [code EUNIS : E3.4] ;
- Gestion d'espaces en prairie pâturée [code EUNIS : E2.1]
- Gestion d'espaces en prairie de fauche diversifiée [code EUNIS : E2.61] ;
- Gestion d'espace en verger hautes-tiges [code EUNIS : G1.D] ;
- Espaces de traitement des polluants : filtres plantés - andains – zone de biomasse non accessible.

Des modes de gestion douce seront appliqués aux habitats biologiques permettant ainsi d'améliorer leur état de conservation (voir au §14).

Dans ce cas nous pouvons conclure à l'absence d'impact résiduel significatif sur les habitats biologiques.

11.2. EN FAVEUR DE L'AVIFAUNE NICHEUSE

11.2.1. MESURE DE REDUCTION DE L'IMPACT DIRECT PERMANENT ET TEMPORAIRE SUR LES INDIVIDUS D'ESPECES PROTEGEES

Le risque de destruction des individus d'espèces protégées d'oiseaux peut être évité par une **organisation conforme du chantier et par un phasage précis**. Ainsi, pour éviter la destruction des individus d'espèces protégées d'oiseaux, **l'intervention sur les structures arbustives et arborescentes devront impérativement éviter la période de reproduction des oiseaux, donc pas d'intervention entre le 1er mars et le 31 août**.

Par ailleurs, **tout rémanent de coupe (petits rejets arbustifs) devra être ôté de l'emprise des aménagements avant le 1^{er} mars**, afin d'éviter que certaines espèces d'oiseaux n'y trouvent d'habitats favorables à leur reproduction au printemps suivant.

Après mise en œuvre de cette mesure de réduction, l'impact direct et temporaire sur les individus d'espèces d'oiseaux protégés peut être considéré comme nul.

11.2.2. MESURES D'EVITEMENT/REDUCTION DE L'IMPACT DIRECT PERMANENT ET TEMPORAIRE SUR LES HABITATS D'ESPECES PROTEGEES

11.2.2.1. Mise en défend des habitats d'espèces protégées hors zone de projet

La zone de fourrés denses à conserver comme zone de quiétude dans la partie Est du site ainsi que les éléments arborés (arbres d'alignement et fourrés) aux abords du site seront protégés par un filet de chantier ou marqués à la bombe de peinture ou entouré d'une rubalise (arbres isolés à conserver) pour leur conservation.

11.3. EN FAVEUR DES CHIROPTERES

11.3.1. MESURE DE REDUCTION DE L'IMPACT DIRECT PERMANENT ET TEMPORAIRE SUR LES INDIVIDUS D'ESPECES PROTEGEES

11.3.1.1. Eclairage

Aucun éclairage ne sera installé sur le site du projet.

11.4. EN FAVEUR DES AMPHIBIENS

11.4.1. MESURES D'EVITEMENT/REDUCTION DES IMPACTS DIRECTS PERMANENTS SUR LES INDIVIDUS D'ESPECES PROTEGEES

11.4.1.1. Isolement de l'aire de travaux

Le Crapaud calamite étant une espèce pionnière et recherchant des abris terrestres dans les sols meubles ou sous des abris artificiels (les déchets et les remblais), le risque de destruction d'individus lors de la phase de travaux est élevé.

Ainsi pour éviter la destruction involontaire du Crapaud calamite ainsi que des autres espèces d'amphibiens recensées, il convient de réduire la présence d'individus à ceux déjà présents avant le début des travaux.

Après un retour d'expérience sur des suivis de chantier réalisés par ECOLOR, l'ensemble du périmètre des travaux doit être isolé et rendu inaccessible par la pose d'une barrière constituée par un filet à petite maille enterré dans le sol (cf note technique ci-après). **Cette barrière devra être posée avant le 1er mars autour des emprises du projet et devra être totalement étanche à la petite faune.** Une attention particulière devra être apportée aux raccords.

Au droit de l'accès au chantier, une barrière amovible avec un filet sera mise en place.

L'objectif visé est la création d'un espace clos, dépourvu d'espèces protégées, permettant aux engins d'évoluer le plus librement possible dans l'emprise des travaux.

Néanmoins, des amphibiens se reproduisent sur site et certains sont susceptibles d'y passer l'hiver et donc d'être « piégé » au sein de ces clôtures. Pour cela, des échappatoires seront aménagées tous les 50 m pour faciliter la sortie des individus.

Au titre de la demande de dérogation, une demande est sollicitée pour pouvoir faire une capture de sauvegarde et déplacer les individus qui resteraient « piégés », vers des habitats de reproduction existant avant la création d'habitats aquatiques de renforcement.

NOTE TECHNIQUE : Protection du chantier par un filet tendu :

La barrière de type filet sera enterrée (0,5 m). L'expérience montre qu'un filet, à très petites mailles, perméable au vent, de 50 cm de haut, enterré, fixé sur les piquets distants de 2 à 2,5 m et retenu en haut par un fil de fer lisse (fil de garde) répond à cet objectif.



Figure 32 - Barrière anti-crapaud de type filet (Ecolor, 2023)

Le fil de garde apparaît essentiel. Outre la rigidité qu'il confère à la structure, il crée un retour du filet (rebord vers l'extérieur), empêchant en dernière limite le passage des individus. L'utilisation de géotextiles ou de grille à mailles fines < 5 mm (type brise vent) est possible sous réserve d'assurer l'enterrement et de créer un retour non franchissable au droit du fil de garde.

Cette protection sera mise en place jusqu'à la fin des travaux pour éviter la colonisation en période de reproduction ainsi que d'estivage/hivernage.

11.4.1.2. Mesure temporelle

Le risque de destruction des individus d'espèces d'amphibiens peut être réduit par une **organisation conforme du chantier et par un phasage précis**. Ainsi, pour réduire le risque de destruction d'individus d'amphibiens, les travaux de terrassement de l'ensemble de la zone du projet débuteront hors de leur période d'hivernage. Soit aucune intervention de terrassement du **15 septembre au 1er mars**.

Des campagnes de captures et déplacement d'individus d'amphibiens et de Lézard des murailles sont prévus de début mars à fin juin. **Les travaux de terrassement devront donc attendre la fin des captures de ces espèces. Ils pourront donc débuter à partir du 1er juillet.**

11.4.1.3. Capture et déplacement d'espèces protégées

La réalisation du projet nécessite **la mise en place d'un suivi de chantier par un expert écologue qui dispose d'une autorisation à la DREAL pour le déplacement d'espèces protégées**.

La demande de capture et de déplacement est sollicitée **en toute saison** et sur **toute la période d'autorisation** au cas où des individus seraient observés dans les aires de chantier, malgré toutes les précautions prises.

Le transfert des animaux sera effectué immédiatement sur les dépressions humides situées au sud de la zone du projet (voir carte ci-après).

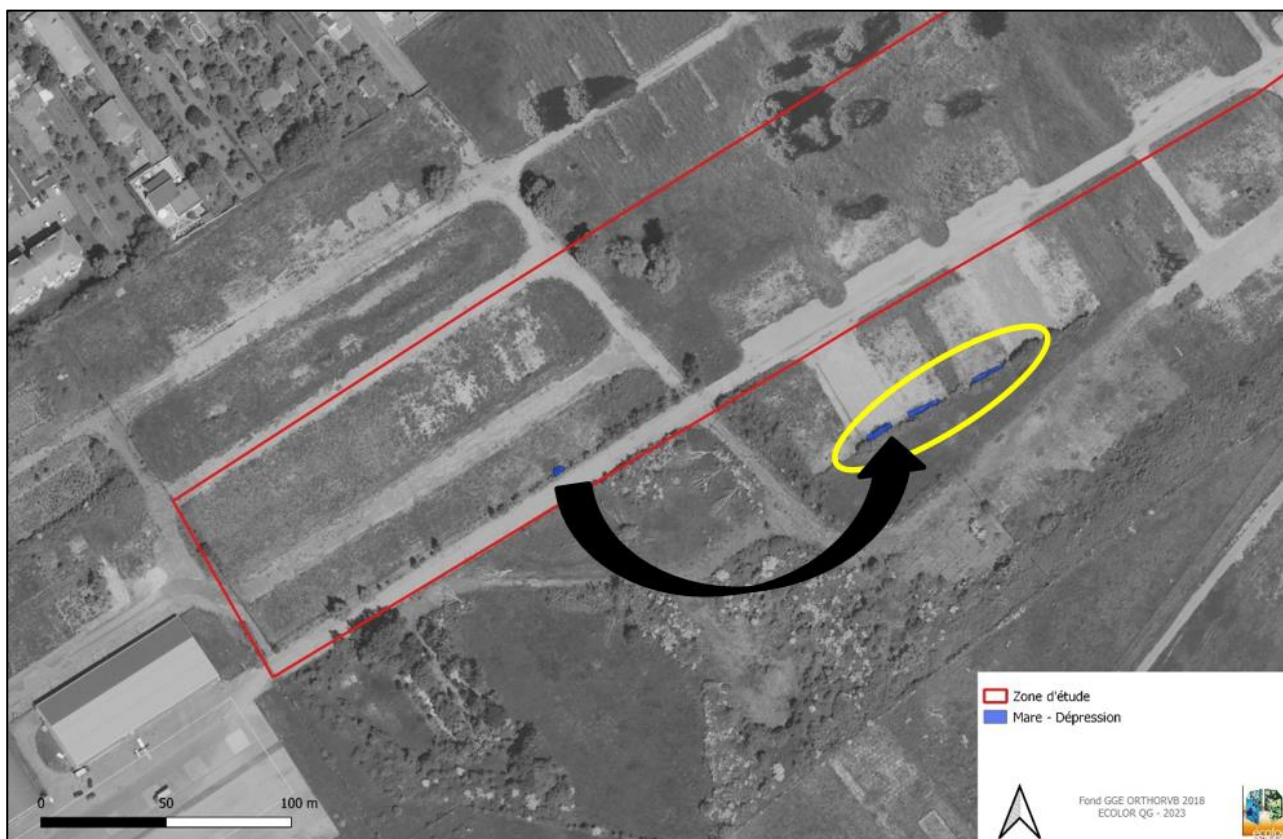


Figure 33 - Zone de déplacement des individus d'amphibiens protégés

Les campagnes de capture seront réalisées durant la phase de migration printanière des amphibiens entre le 1er mars et le 15 mai à raison d'un passage nocturne par semaine soit 11 passages au total. **Aucun terrassement ne sera autorisé durant cette période.**

Les individus seront capturés par des écologues munis de gants et déplacés dans des seaux puis relâchés directement sur les dépressions temporaires situées au Sud du site. **La capture des amphibiens s'effectuera dans le respect des protocoles d'hygiène pour limiter la dissémination de la Chytridiomycose.**

NOTA : Lutte contre la Chytridiomycose :

Les populations d'amphibiens sont actuellement touchées, notamment en France, par une maladie causée par le champignon Batrachochytrium dendrobatidis. Afin d'éviter la propagation de cette maladie, un protocole d'hygiène sera adopté lors de chaque prospections en direction des amphibiens. Ce protocole est celui qui a été proposé par Dejean et al, dans le Bulletin de la Société Herpétologique de France en 2010.

Il est donc important que les personnes autorisées à déplacer les individus soient formées.

Après mise en œuvre de ces mesures d'évitement/réduction, l'impact résiduel sur les individus d'espèces protégées d'amphibiens est faible.

11.4.2. MESURE D'EVITEMENT / REDUCTION DE L'IMPACT DIRECT PERMANENT ET TEMPORAIRE SUR L'HABITAT D'ESPECES PROTEGEES

Un filet de chantier sera installé en accompagnement de la barrière anti-amphibien permettant ainsi de limiter les accès au site du projet

Après mise en œuvre de ces mesures d'évitement/réduction, l'impact résiduel est considéré comme nul sur les habitats d'espèces protégées situés à l'extérieur de la zone du projet et comme fort pour la mare temporaire située au sein du périmètre du projet.

11.5. EN FAVEUR DES REPTILES

11.5.1. MESURES DE REDUCTION DES IMPACTS SUR LES INDIVIDUS D'ESPECES PROTEGEES

11.5.1.1. Mesure temporelle

Les travaux seront réalisés durant la période d'activité des reptiles (entre juin et septembre) permettant ainsi aux individus de fuir en cas de danger.

Après application de cette mesure de réduction, l'impact résiduel sur les individus de Lézard des murailles est considéré comme faible et nul pour le Lézard vivipare.

11.5.1.2. Capture et déplacement d'espèces protégées

La demande de capture et de déplacement est sollicitée durant **la période des travaux** et sur **toute la période d'autorisation** au cas où des individus seraient observés dans l'aire de chantier, malgré toutes les précautions prises.

Le transfert des animaux sera effectué immédiatement sur les habitats favorables aux reptiles situé à proximité (voir localisation de la zone des relâchés sur la carte ci-après).

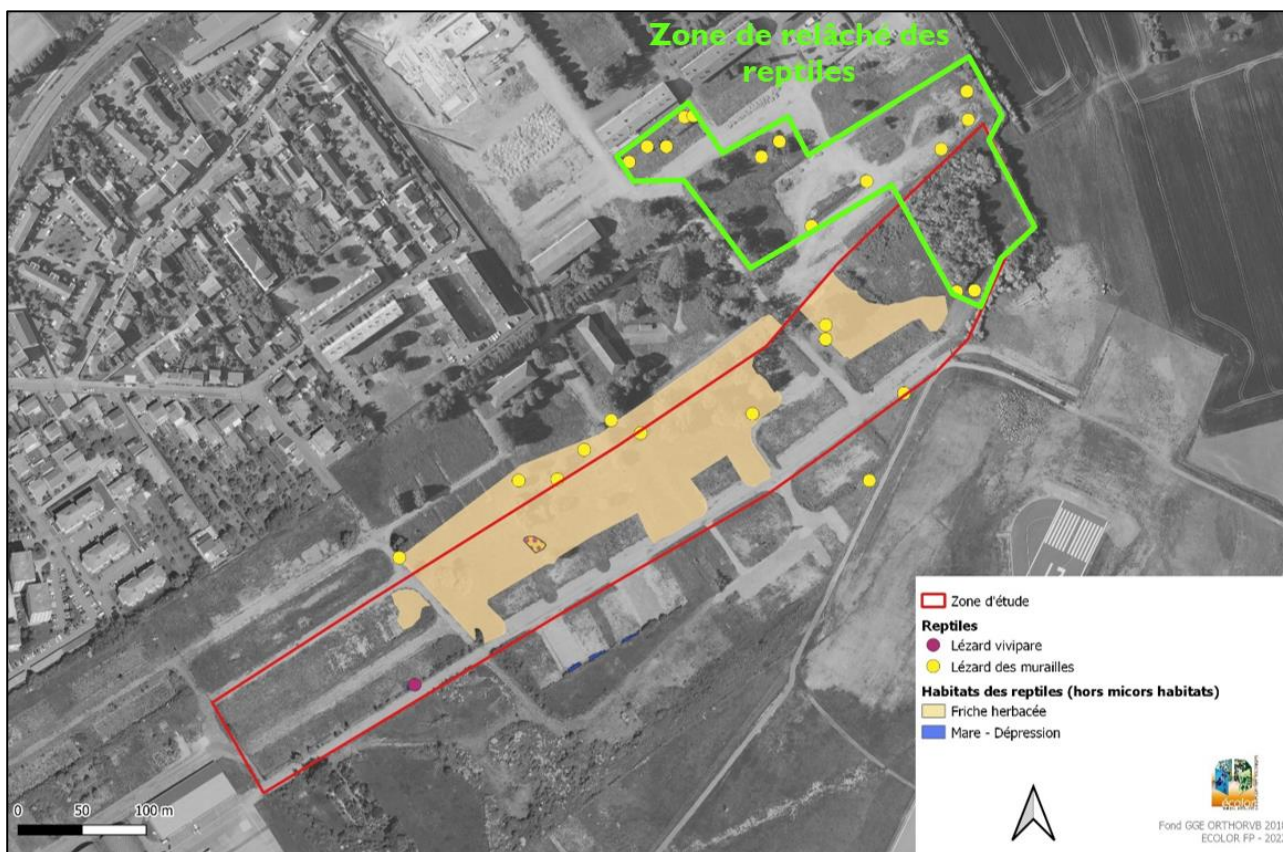


Figure 34 - Localisation des zones de relâchés possibles des reptiles

11.5.2. MESURE DE REDUCTION DES IMPACTS SUR LES HABITATS D'ESPECES PROTEGEES

Quelques micros-habitats favorables au Lézard des murailles comme les tas de bois et les troncs d'arbres seront retirés temporairement de la zone d'aménagements le temps des travaux puis replacés sur site après travaux. Cette mesure ne permet pas de garantir le maintien de l'ensemble des micros-habitats du site mais permet au moins de conserver les plus intéressants pour le Lézard des murailles (voir photos ci-dessous).



Figure 35 – Micros-habitats à déplacer et à replacer sur site après travaux, ECOLOR 2022

Après application de cette mesure de réduction, l'impact résiduel sur les habitats du Lézard est considéré comme **faible**.

12. IMPACTS RESIDUELS

Le tableau paragraphe 15.3. dresse la synthèse des mesures d'évitement / réduction à mettre en œuvre.

Après application des mesures d'évitement et de réduction, des impacts résiduels persistent sur :

- Des habitats protégés de l'avifaune nicheuse (0,36 ha) ;
- Les individus protégés de 3 espèces d'amphibiens : Crapaud calamite, Crapaud commun et Triton alpestre ;
- Un habitat protégé d'amphibiens : mare temporaire ;
- Les individus protégés de Lézard des murailles ;
- Des micros-habitats protégés du Lézard des murailles.

Dans ce cas, le projet est soumis à demande de dérogation.

13. MESURES COMPENSATOIRES

13.1. EN FAVEUR DE L'AVIFAUNE NICHEUSE

13.1.1. MC1 : Plantations intégrées au projet

Dans le cadre du projet de requalification de la friche Kleber, plusieurs plantations arborées sont prévues (voir Figure 35) :

- Des plantations d'arbres (environ 16 sujets) ;
- Des plantations de haies d'aulépines et de prunelliers et de petits bosquets arbustifs isolés (10 haies arbustives parallèles et environ 18 petits bosquets arbustifs) ;
- Des plantations de fruitiers hautes-tiges sur deux zones.

Ces plantations couvriront une surface totale d'environ 1 ha de la manière suivante :

Tableau 30 : Surface des plantations arborées prévues dans le cadre du projet

Plantations	Surface (m ²)	Cortèges d'oiseaux
Haies et petit bosquets	10 haies 4189 m ² + 18 bosquets arbustifs 12 m ² /bosquet donc 216 m ² , total = 4 405 m²	Haies et lisières
Petits arbres	16 arbustes 10 m ² /arbustes, total = 160 m²	Haies et lisières
Vergers	2 vergers, 2205 + 3225 = 5 430 m²	Ubiquiste (cavernicoles)

Ces plantations viendront considérablement structurer et enrichir le site en faveur de l'avifaune nicheuse. Le maintien de plusieurs zones prairiales en chapelets seront des zones de chasse très intéressantes pour les oiseaux du cortège des haies et lisières.



Figure 36 – Rappel des plantations prévues sur le site

Une gestion douce de ces prairies sera bénéfique à l'entomofaune et à l'avifaune prédatrice de ce groupe.

Ces mesures qui font parties de l'essence même du projet viendront considérablement réduire les impacts sur l'avifaune nicheuse.

13.1.2. MC2 : Conservation d'une zone de quiétude en faveur des espèces patrimoniales

Une zone de quiétude sera laissée en faveur de la Pie-grièche écorcheur et du Tarier pâtre, espèces sensibles aux dérangements et aux activités humaines.

Dans cette zone, localisée sur la carte ci-après, aucun point d'accès au public n'a été proposé si ce n'est un poste d'observation pédagogique dans la partie ouest de cette prairie.

Ces espaces créés (haies, pâtures et prairies de fauches) seront très favorables à la Pie-grièche écorcheur. Ils permettront avec les friches herbacées et arbustives connexes, de conserver les couples recensés lors de l'état initial.

Après application de ces mesures de compensation, nous pouvons conclure à l'absence d'impact résiduel sur les individus et les habitats d'espèces d'oiseaux protégés.

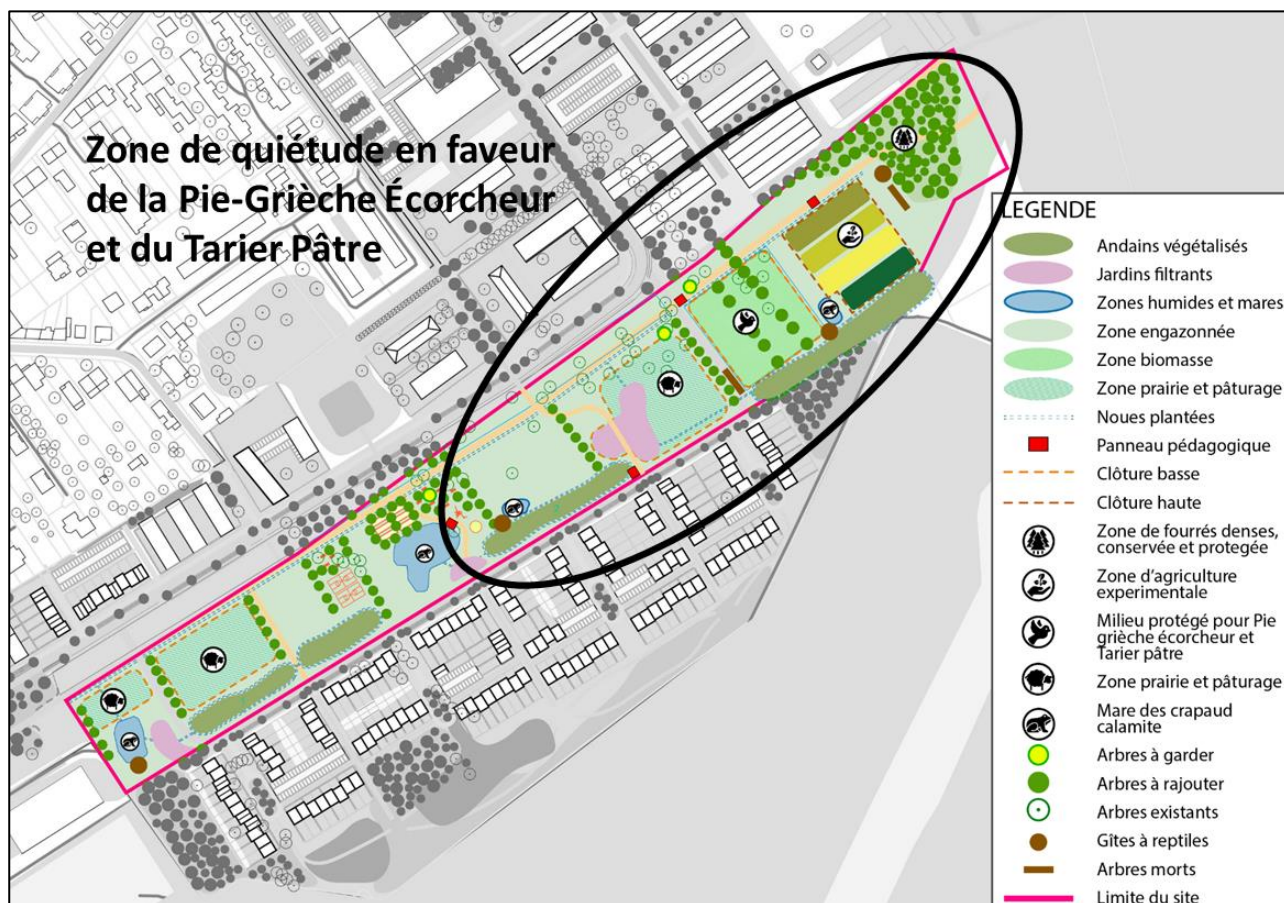


Figure 37 – Localisation de la zone de quiétude en faveur de l'avifaune patrimoniale (source : Phytorestore)

13.2. EN FAVEUR DES AMPHIBIENS

Les actions écologiques prévues dans le cadre du projet de requalification de la friche Kleber seront largement bénéfiques aux espèces d'amphibiens recensées sur site et à proximité et pourront donc compenser les impacts liés aux aménagements.

13.2.1. MC3 : Mares compensatoires en faveur du Crapaud commun et du Triton alpestre

Les deux mares permanentes, couvriront une surface totale de 1 635 m² de la manière suivante :

- Mare dans la partie Sud-Ouest du site : 533 m² ;
- Mare dans la partie centrale du site : 1 102 m².

Le mode de gestion de ces mares est présenté au Chapitre 14.

Ces mares seront favorables au Crapaud commun et au Triton alpestre et viendront compenser un impact sur un habitat aquatique par deux habitats aquatiques d'une **surface totale 125 fois plus grande**.

13.2.2. MC4 : Mares compensatoires en faveur du Crapaud calamite

Deux mares temporaires d'une profondeur maximale de 50 cm et d'une surface de 25m² chacune seront créées dans des pâtures à ovins. Elles permettront aux moutons de s'abreuver et aux Crapaud calamite de se reproduire. Le piétinement et l'abroustissement des moutons permettront de conserver un caractère pionnier sur ces mares que le Crapaud calamite apprécie particulièrement.

Le mode de gestion de ces mares est détaillé au Chapitre 14.

L'impact direct sur un habitat de reproduction potentiel du Crapaud calamite sera donc compensé par ces deux mares qui couvriront une **surface d'eau temporaire 3,8 fois plus grande** que celle de l'habitat aquatique impacté.

13.3. EN FAVEUR DES REPTILES

Les troncs d'arbres et bois mort présents actuellement sur le site et utilisés par le Lézard des murailles seront retirés avant le début des travaux puis replacés sur le site après mise en œuvre des aménagements. Le bois mort présent sur site pourra être utilisé dans la confection des gîtes à reptiles. Au total, quatre gîtes seront créés sur site de la manière suivante (voir localisation sur la carte en page suivante) :

- 1 gîte en lisière d'une haie arbustive dans la partie Est du site ;
- 1 gîte en limite de chaque mare temporaire ;
- 1 gîte en limite de la mare permanente qui sera créée dans la partie ouest du site.

Les troncs d'arbres déplacés avant le début de travaux, seront replacés en lisières de deux haies arbustives plantées (voir carte en page suivante).

13.3.1. MC5 : Créations des gîtes à reptiles

Cette mesure a pour objectif de recréer des gîtes artificiels pour la population de Lézard des murailles. Ce type d'aménagement possède différentes fonctions biologiques pour cette espèce : abri nocturne, sites d'hivernage, zones de chasse, de cache et de repos. Déroulement des opérations pour un gîte artificiel :

- Creuser une fosse d'environ 60cm de profondeur à la pelle mécanique ;
- Disposer une couche de sable (ou autres matériaux naturels drainant) au fond ;
- Puis disposer successivement des souches, des pierres, des branchages de différentes tailles. Ces matériaux seront mêlés à de la terre végétale.

Une surface de sable et de mulch sera mise en place autour de l'abris, qui pourra servir de lieu de ponte pour les lézards.

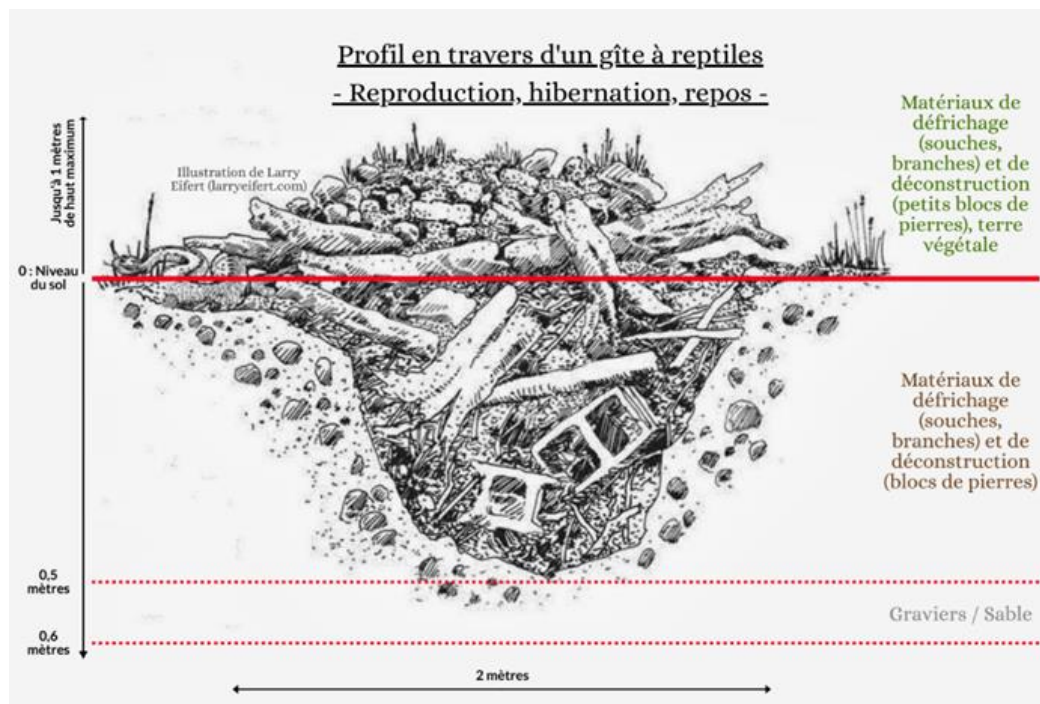
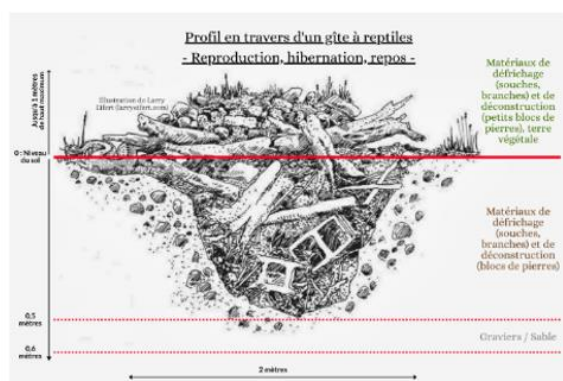


Figure 38 – Profil en travers d'un gîte artificiel pour les reptiles

Réinstallation des troncs d'arbres

Les troncs d'arbres utilisés comme micros-habitats par le Lézard des murailles seront retirés avant le début des travaux puis réinstallés sur site après finalisation des aménagements.

Ils seront placés en lisières des haies plantées (voir carte ci-après), exposé Sud – Sud/Ouest, favorable à la thermorégulation du Lézard des murailles.



● Gîtes à reptiles

■ Arbres morts

Figure 39 – Localisation des micros-habitats compensatoires en faveur du Lézard des murailles

13.4. FONCTIONNALITE DES MESURES COMPENSATOIRES

Tableau 31 : Synthèse et fonctionnalité des mesures compensatoires

Mesures compensatoires	Fonctionnalité
Avifaune nicheuse	
MC1 : plantations intégrées au projet	Les aménagements prévoient de créer un paysage très favorable aux espèces présentes initialement sur le site et notamment aux deux espèces patrimoniales majeures du site, la Pie-grièche écorcheur et le Tarier pâtre. Les essences de plantations ont été principalement ciblées pour ces espèces en favorisant les arbustes épineux comme le Prunellier et l'Aubépine, apprécié par ces deux espèces. Cette mesure incluse dans la conception même du projet apportera une amélioration certaine des habitats de vie de ces deux espèces ainsi que des autres espèces communes recensées lors de l'état initial. La gestion écologique de ces habitats favorisera d'autant plus l'entomofaune et donc les ressources alimentaires pour ces deux espèces insectivores. Le frein pour ces deux espèces concerne principalement le dérangement engendré par une fréquentation plus importante du site et les aménagements futurs (future ligne de tram, ...) qui risquent de réduire significativement le territoire de la Pie-grièche écorcheur et du Tarier pâtre.
MC2 : conservation d'une zone de quiétude en faveur des espèces patrimoniales	Cette mesure prévoit de concentrer les accès au public dans la partie Ouest du site afin de conserver une zone de quiétude suffisante pour garantir le maintien de la Pie-grièche écorcheur et du Tarier pâtre sur le site. Dans le contexte actuel où s'inscrit le projet (espaces de friches herbacées et arbustives), l'espace est suffisant pour accueillir les couples de Pie-grièche écorcheur et le couple de Tarier pâtre recensés lors de l'état initial et pour accueillir du public sur une partie restreinte du site.
Amphibiens	
MC4 : Mare compensatoire en faveur du Triton alpestre et du Crapaud commun	Les deux mares qui seront créées seront 120 fois plus grandes que la mare temporaire qui sera impactée. Elles permettront aux deux espèces ciblées de se maintenir sur le site et très probablement d'améliorer l'état de la population à l'échelle locale.
MC5 : Mare compensatoire en faveur du Crapaud calamite	Les surfaces d'habitats aquatiques favorables au Crapaud calamite seront 3,8 fois supérieures à l'habitat aquatique impacté. Ces mares auront des caractéristiques semblables à celle impactée : pâturage, enrochement et faible profondeur.
Reptiles	
MC6 : création de gîtes à reptiles	La création de 4 gîtes à reptiles répartis de manière homogène sur toute la surface du site en plus de la conservation de quelques micros-habitats permettront au Lézard des murailles de se réapproprier le site et de trouver des habitats favorables à sa reproduction.

14. MESURES DE GESTION

Des mesures de gestion sont proposées dans l'objectif de rendre le projet de phytoremédiation compatible avec le maintien des enjeux écologiques du site et d'améliorer la biodiversité de celui-ci.

14.1. GESTION DES ESPECES VEGETALES INVASIVES

Au total, 3 espèces végétales invasives feront l'objet de mesures de gestion :

- **la Renouée du Japon** (*Falopia japonica*) ;
- **le Robinier faux-acacia** (*Robinia pseudoacacia*) ;
- **le Buddleja** (*Buddleja davidii*).

Des mesures générales sont préconisées avant, pendant et après les travaux :

1- Avant le démarrage du chantier :

- picturer et/ou baliser les espèces végétales invasives : pieds de Renouée du Japon, Bosquet de Robinier faux acacia et pieds de Buddleja ;
- Nettoyer le matériel entrant sur le site (godets, griffes de pelleteuses, pneus, chenilles, outils manuels, bottes, chaussures, etc.).

2- Pendant le chantier :

- interdire l'utilisation de terre végétale contaminée en dehors des limites du chantier ;
- vérifier l'origine des matériaux extérieurs utilisés (ex : remblaiement), afin de garantir de ne pas importer des terres contaminées ;
- replanter ou réensemencer le plus rapidement possible avec des espèces locales, des graminées prairiales ou recouvrir par des géotextiles les zones où le sol a été remanié ou laissé à nu ;
- nettoyer tout matériel entrant en contact avec les espèces invasives (godets, griffes de pelleteuses, pneus, chenilles, outils manuels, bottes, chaussures, etc.) avant leur sortie du site et à la fin du chantier ;
- réutiliser les terres traitées sur place ;
- assurer un suivi attentif de la zone de chantier à raison de trois visites annuelles par un écologue.

3- Après le chantier :

- mettre en place une surveillance des secteurs sensibles sur plusieurs années pour identifier tout nouveau départ d'espèce invasive ;
- intervenir le plus rapidement possible en cas de nouvelles populations, d'extensions ou de repousses.

Des méthodes de lutte sont proposées ci-dessous pour chaque espèce végétale envahissante. Ces méthodes sont inspirées du Guide d'identification et de gestion des Espèces Végétales Exotiques Envahissantes sur les chantiers de Travaux Publics (*FNTP, MNHN, GRDF et EngieLab, 2016*). **Pour plus d'informations pratiques, ce guide pourra donc être consulté.**

14.1.1. Renouée du Japon

La colonisation de la Renouée du Japon sur le site semble récente, deux pousses sont présentes dans la partie Est du site. Cette station sera donc facile à traiter.

Une opération de concassage-bâchage sera mise en œuvre avant le début des travaux. Pour cela, les terres infestées seront décaissées, puis concassées avant d'être recouvertes par une bâche noire totalement opaque à la lumière.

La mortalité des rhizomes dans le sol n'est pas immédiate, mais elle nécessite un délai de plusieurs mois, 12 à 18 mois selon les sites. L'humidité des terres et la température jouent un rôle important dans la vitesse de pourrissement. Ainsi dans les sols totalement saturés en eau, les rhizomes dépérissent en quelques semaines après le concassage. Ce concassage associé au bâchage est donc très efficace pour détruire la plante.



Figure 40 - Pousses de Renouée du Japon dans la partie Est du site, ECOLOR 2022

14.1.2. Buddleja

Une zone avec une concentration importante de Buddleja doit être traitée sur site.

Avant le début des travaux, les pieds de Buddleja seront dessouchés (retrait du système racinaire du sol) avant la maturité des graines (entre juillet et septembre). Les déchets de coupe ne comportant ni graine, ni racine pourront être mis à la collecte des déchets verts.

Les déchets comportant des fleurs, des graines ou des racines devront faire l'objet d'une évacuation sécurisée vers un centre agréé (compostage/méthanisation à privilégier si possible).

14.1.3. Robinier Faux-Acacia

Arrachage mécanique

Avant le début des travaux, une campagne d'arrachage mécanique et manuel des Robiniers faux-acacia sera programmée. L'ensemble du bosquet de Robinier faux acacia sera supprimé.

Arrachage manuel et fauche répétée

L'arrachage mécanique peut s'avérer efficace en combinaison avec l'arrachage manuel des semis et une fauche répétée sur plusieurs années.

14.2. PLANTATION ET GESTION DES ESPACES ARBORES

Les plantations arborées du site (petits arbres et arbustes) seront choisies parmi des essences que l'on trouve naturellement dans le Grand-Est.

Exemple d'essences arbustives présentes dans le Grand-Est :

- **Aubépine (*Crataegus monogyna*) ;**
- **Prunellier (*Prunus spinosa*)**
- Sureau noir (*Sambucus nigra*) ;
- Troène commun (*Ligustrum vulgare*) ;
- Cornouiller mâle (*Cornus mas*) ;

- Cornouiller sanguin (*Cornus sanguinea*) ;
- Fusain d'Europe (*Euonymus europaeus*) ;
- Noisetier (*Corylus avellana*).

En **gras**, les espèces arbustives à prioriser pour la Pie-grièche écorcheur dans la partie nord-est du site.

Les essences présentant des fruits comestibles le Sureau noir (*Sambucus nigra*) et le Noisetier (*Corylus avellana*) peuvent concentrer des polluants. Elles seront à éviter sur le site.

Les espaces arborés pourront être entretenus par une taille « douce » en dehors de la période de reproduction des oiseaux (mars à septembre). Les outils à privilégier sont la tronçonneuse ou les lamiers à rotors, à couteaux ou à scies qu'y ne broient pas les branches (source de maladies).

14.3. GESTION DES PRAIRIES

14.3.1. Prairie pâturée

Des espaces herbacés seront gérés par un pâturage ovin (moutons) ce qui permettra de maintenir des espaces herbacés de faible hauteur, apprécié par la Pie-grièche écorcheur. Le piétinement et l'abroustissement des moutons sur les mares temporaires favoriseront également le caractère pionnier de ces points d'eau, en faveur du Crapaud calamite.

Le pâturage pourra être réalisé en période estivale (du 1er mai au 31 octobre).

14.3.2. Prairie de fauche

14.3.2.1. Semis des surfaces en prairie de fauche

Le semis de prairie se basera sur un mélange de graines d'espèces herbacées présentes naturellement dans le Grand-Est. Quatre règles sont à respecter dans le semis de prairie :

1. Affinez la terre en automne mais sans excès ;
2. Passez la surface au rouleau ;
3. Semez superficiellement (semis de prairie naturelle adapté au Grand-Est) ;
4. Passez à nouveau le rouleau ;
5. (optionnelle) couvrir le sol avec du foin pour la protection des graines en hiver.

Tableau 32 : Liste d'espèces à semer après pour la constitution d'une prairie mésophile diversifiée

Fleurs sauvages	
Achillée millefeuille	<i>Achillea millefolium</i>
Centauree jaccée	<i>Centaurea jacea</i>
Carotte sauvage	<i>Daucus carotta</i>
Marguerite	<i>Leucanthemum vulgare</i>
Lotier corniculé	<i>Lotus corniculatus</i>
Plantain lancéolé	<i>Plantago lanceolata</i>
Primevère officinale	<i>Primula veris</i>
Brunelle commune	<i>Prunella vulgaris</i>
Renoncule bulbeuse	<i>Ranunculus bulbosus</i>
Renoncule âcre	<i>Ranunculus acris</i>

Petite sanguisorbe	<i>Sanguisorba minor</i>
Saxifrage granulifère	<i>Saxifraga granulata</i>
Sauge des prés	<i>Salvia pratensis</i>
Knautie des prés	<i>Knautia arvensis</i>
Salsifis des prés	<i>Tragopogon pratensis</i>
Graminées	
Amourette	<i>Briza media</i>
Flouve odorante	<i>Anthoxanthum odoratum</i>
Fromental	<i>Arrhenatherum elatius</i>
Laîche glauque	<i>Carex flacca</i>
Fétuque des prés	<i>Festuca pratensis</i>
Vulpin des prés	<i>Alopecurus pratensis</i>
Fléole des prés	<i>Phleum pratensis</i>
Avoine dorée	<i>Trisetum flavescens</i>

Le réensemencement peut être également réalisé à partir du produit de fauche d'une prairie mésophile locale de la manière suivante :

1. Affinez la terre en automne mais sans excès ;
2. Passez la surface au rouleau ;
3. Réalisez une coupe directe sur une prairie locale par une ensileuse (récolte sous forme de broyat) et stockage dans une remorque ;
4. Réensemencez le broyat sur les patchs du site directement après l'étape 3.
5. (optionnelle) couvrir le sol avec du foin pour la protection des graines en hiver.

Avantage : réutilisation des graines de prairies locales et mise en œuvre rapide.

Inconvénients : Contractualisation avec un agriculteur et période de récolte restreinte et aléatoire.

14.3.2.2. Gestion des surfaces en prairie de fauche

Les deux premières années, plusieurs fauches pourront être appliquées sur les patchs de prairies ressemées, le temps que la végétation se mette en place. Ensuite, une fauche tardive (septembre-octobre) avec export du produit de fauche sera réalisée annuellement, permettant ainsi à la plupart des espèces d'insectes de réaliser leur cycle biologique complet.

Des zones refuges laissées non fauchées annuellement sont souhaitables en faveur de la biodiversité du site (exemple : **50% annuellement non fauché**).

14.4. GESTION DES ANDAINS

Les andains feront l'objet de plantations herbacées et arbustives. Les espèces finales choisies cibleront autant que possible des espèces végétales que l'on trouve naturellement dans le Grand-Est.

Pour les plantations, les espèces pourront être choisies parmi les espèces herbacées et les essences arbustives présentées dans les tableaux précédents.

14.5. GESTION DES MARES

14.5.1. Mares permanentes intégrées au projet (zones humides)

Les espèces plantées dans les zones humides seront choisies pour leurs bonnes capacités phytoépuratrices, afin de continuer l'action de dégradation initiée dans les Andains Plantés, les Noues Plantées et les Filtres Plantés.

Les parties les plus profondes des mares pourront être plantées en roselière (*Phragmites australis*) ou typhaie (*Typha latifolia*). Toutefois, aucune plantation n'est exigée dans le cadre de la conservation des amphibiens.

Ces grandes mares feront l'objet d'une fauche annuelle avec export en automne (septembre-octobre) pour éviter leur fermeture par les saules. Des zones refuges laissées non fauchées annuellement sont souhaitables en faveur de la biodiversité du site (exemple : **50% de la végétation aquatique non fauchée annuellement**).

14.5.2. Mares temporaires en faveur du Crapaud Calamite

Quelques enrochements ou un fond de graviers peuvent être placés au fond des deux mares pour accentuer leur caractère pionnier (voir exemple sur la photo ci-après).



Figure 41 - Exemple de mare peu profonde avec enrochements favorables au Crapaud calamite

Mis à part le pâturage ovins, aucune gestion particulière n'est à prévoir.

14.6. ACCUEIL DES USAGERS

L'accès des usagers sera limité aux espaces publics créés pour eux dans la partie ouest du site.

15. MESURES DE SUIVI

15.1. SUIVI DE CHANTIER

Pendant la période des travaux, un suivi de chantier sera réalisé. Un expert écologue sera mandaté pour s'assurer de la bonne conformité des mesures d'évitement/réduction.

Ce suivi aura pour objectif de veiller à la conformité sur le terrain de la réalisation des mesures :

- planning des travaux avec les cycles biologiques des espèces ;
- mise en défend des habitats protégés d'espèces ;
- lutte contre les espèces végétales invasives ;
- installation des gîtes de report pour les chauves-souris ;
- protection de la zone du projet par une bâche anti-amphibiens.

Des écologues seront missionnés pour :

- vérifier l'absence présence de chauves-souris dans les arbres à cavités ;
- déplacer les individus d'amphibiens présents sur la zone du projet ;
- déplacer les individus de Lézard des murailles dans le cas d'un risque de destruction constaté.

Tableau 33 : Liste des mesures à prévoir / Période de mise en œuvre des mesures avant début des terrassements

Période d'intervention	sept	oct.	nov.	déc.	jan.	fév.	Mar.	avr.	mai	juin	Juil.	août
Campagne de lutte contre la Renouée du Japon	Concassage-bâchage 12 à 18 mois avant le début des travaux											
Campagne de lutte contre le Robinier faux acacia et le Buddleja												
Mise en défend et signalisation des habitats d'espèces protégées												
Vérification de l'absence/présence de chauves-souris dans les cavités												
Broyage, élagage et abattage												
Suppression des rémanents (tas de branches)												
Pose des 6 gîtes à chiroptères												
Retrait des micros-habitats à Lézard des murailles												
Si présence de chauves-souris, pose d'un dispositif anti-retour sur les cavités concernées et coupe des arbres												
Protection de la zone du projet par la mise en place d'une bâche anti-amphibien												
Captures et déplacements des amphibiens (1 ^{er} mars au 15 mai)							II campagnes nocturnes					
Captures et déplacements des reptiles							Déplacements d'individus possibles durant le suivi de chantier					

En rouge = période interdite

En vert = période la plus favorable

Les travaux pourront débuter à partir de la mi-mai, après réalisation des mesures susnommées.

15.2. SUIVI ECOLOGIQUE

Le suivi écologique a pour objectif de vérifier l'efficacité des mesures compensatoires mises en place en faveur de l'avifaune, des reptiles et des amphibiens.

Ce suivi comprendra donc :

- 2 campagnes nocturnes pour l'inventaire des amphibiens à hauteur des zones compensatoires et des habitats favorables intégrés au projet ;
- 2 campagnes d'inventaire des reptiles sur les zones compensatoires et les habitats intégrés au projet entre la mi-avril et la fin juin ;
- La réalisation d'IPA (Indices Ponctuels d'Abondance) et de parcours pédestre pour l'inventaire de l'avifaune nicheuse ;
- Le suivi des espèces végétales envahissantes.

Le rendu du rapport de suivi sera effectué dans un délai de 3 mois après la fin des observations faunistiques. **En cas de mesure compensatoire jugée inefficace, des mesures correctives pourront être proposées.**

Ce suivi sera réalisé sur une période de 30 ans de la manière suivante :

→ Suivi à l'année n+1, n+2, n+3, n+5 puis tous les 5 ans jusqu'à n+30.

15.3. SYNTHÈSE DES MESURES ENVIRONNEMENTALES

Le tableau de synthèse présenté en page suivante permet de visualiser les impacts initiaux, puis les impacts résiduels après l'application des mesures d'évitement et de réduction ainsi que les mesures de compensation à mettre en place pour pallier aux impacts résiduels.

Tableau 34 : Synthèse des mesures environnementales

SOUS-THÈME	TYPE D'IMPACT	IMPACTS POTENTIELS	NIVEAU D'IMPACT	TYPES DE MESURES	MESURES ASSOCIÉES	IMPACT RÉSIDUEL	MESURES COMPENSATOIRES MESURES D'ACCOMPAGNEMENT
Zonages environnementaux	Direct et permanent	Aucun espace naturel ou habitat patrimonial	Nul	/	/	/	/
	Direct et temporaire		Nul	/	/	/	/
	Impact indirect	RAS	Positif	/	/	/	/
Habitats biologiques	Direct et permanent	Habitats patrimoniaux et banals fortement dégradés (impact non réglementaire)	Faible à moyen	Aménagements intégrés au projet	Diversification et dépollution des habitats biologiques	/	/
	Direct et temporaire		Négligeable à moyen	Évitement	Respect des emprises (balisage et suivi en phase travaux)	/	MC1 : Plantations intégrées au projet MC4 : Création de deux grandes mares intégrées au projet MC5 : Création de 2 mares temporaires de grande dimension en faveur du Crapaud calamite
	Impact indirect	Diversification des habitats intégrées au projet	Positif	/	/	/	/
Végétation	Direct et permanent	Absence d'espèce patrimoniale et/ou protégée	Non significatif	/	/	/	/
	Direct et temporaire		Non significatif	/	/	/	/
	Impact indirect	Diversification des habitats, diversification des espèces végétales et lutte contre les EEE	Positif	/	/	/	/
Zones humides	Direct et permanent	Impact sur 0,03 ha de zone humide dégradée inférieur au seuil de déclaration (<0,1 ha)	Non significatif	/	/	/	/
	Direct et temporaire		Non significatif	/	/	/	/
	Impact indirect	Création de 2 habitats aquatiques de grande dimension	Positif	/	/	/	/
Avifaune nicheuse	Impact direct et permanent - individus	Si travaux durant la période de nidification	Moyen	Réduction	Débroussaillage/défrichage/abattage en dehors de la période de reproduction de l'avifaune nicheuse	/	/
	Impact direct et temporaire – individus		Moyen			/	/
	Impact direct et permanent – habitats	Impact sur 0,5 ha sur 1,04 ha d'habitats favorables à l'avifaune nicheuse	Faible	/	/	/	MC1 : Plantations intégrées au projet MC 2 : Conservation d'espaces de quiétude
	Impact direct et temporaire – habitats	Risque en phase travaux si absence de signalisation et sensibilisation	Moyen	Évitement	Respect des emprises (balisage et suivi en phase travaux)	/	/
	Impact indirect	Aménagements intégrés au projet favorables à l'avifaune nicheuse	Positif	/	/	/	/
Entomofaune	Direct et permanent	Absence d'espèces protégées	Non significatif	/	/	/	/
	Direct et temporaire		Non significatif	/	/	/	/
	Impact indirect	Diversification et gestion douce des habitats intégrés au projet	Positif	/	/	/	/
Mammifères terrestre	Direct et permanent	Absence d'espèces protégées	Nul	/	/	/	/
	Direct et temporaire		Nul	/	/	/	/
	Impact indirect	RAS	Nul	/	/	/	/

Chiroptères	Impact direct et permanent – individus	Abattage de 3 arbres à cavités	Nul	Évitement	Conservation des arbres à cavités	/	/
	Impact direct et permanent – habitat		Nul				
	Impact direct et temporaire - individus :	Risque en phase travaux si absence de signalisation et sensibilisation	Moyen	Évitement	Respect des emprises (balisage et suivi en phase travaux)	/	/
	Impact direct et temporaire – habitat		Moyen			/	/
	Impact indirect	Diversifications des habitats, création de zones de chasses intéressantes	Positif	/	/	/	/
Amphibiens	Impact direct permanent et temporaire - individus	Risque de destruction d'individus en phase travaux	Fort	Réduction	Pose d'une bâche anti-intrusion Déplacement d'individus d'espèces protégées	Risque de destruction d'individus en phase travaux	MC4 : Création de deux grandes mares intégrées au projet MC5 : Création de 2 mares temporaires de grande dimension en faveur du Crapaud calamite
	Impact direct permanent et temporaire - habitats	Destruction d'habitat au droit du projet et risque de destruction/altération en phase travaux	Fort	/	/	Destruction d'un habitat aquatique utilisé par trois espèces d'amphibiens	
	Impact indirect	Création de 2 habitats aquatiques de grande dimension	Positif	/	/	/	/
Reptiles	Impact direct et permanent - individus	Risque en phase travaux si période défavorable (hibernation)	Fort	Réduction	Réalisation des travaux durant la période d'activité des reptiles	Risque de destruction d'individus en phase travaux	MC6 : Création de gîtes favorables aux Lézard des murailles
	Impact direct et temporaire – individus	Risque supplémentaire en phase travaux si absence de signalisation et sensibilisation	Fort	Évitement	Respect des emprises (balisage et suivi en phase travaux)	/	/
	Impact direct et permanent – habitats	Destruction de micros-habitats avec présence du Lézard des murailles	Moyen	Réduction	Retrait de micros-habitats avant le début des travaux et réinstallation après travaux	Destruction de micros-habitats	MC6 : Création de gîtes favorables aux Lézard des murailles
	Impact direct et temporaire – habitats	Risque supplémentaire en phase travaux si absence de signalisation et sensibilisation	Fort	Évitement	Respect des emprises (balisage et suivi en phase travaux)	/	/
	Impact indirect	/	Nul	/	/	/	/
TVB	Impact direct et permanent	Conservation d'un fourré dense et réaménagement de zones prairiales avec renforcement d'habitats aquatiques et arborés.	Positif	/	/	/	/
	Impact direct et temporaire	Risque de dégradation des habitats environnants en phase travaux	Faible	Évitement	Respect des emprises (balisage et suivi en phase travaux)	/	/
	Impact indirect	Diversification des habitats biologiques	Positif	/	/	/	/

16. RECOMMANDATIONS GENERALES EN MATIERE D'HYGIENE ET SECURITE

Afin de répondre aux exigences réglementaires, un Plan Général de Coordination en matière de Sécurité et de Protection de la Santé (PGCSPS) sera rédigé par une entreprise spécialisée mandatée par le Maître d'Ouvrage. Les éléments contenus dans ce document préciseront les principes généraux de prévention des risques afin que les entreprises intervenant sur le chantier (y compris les entreprises sous-traitantes ou travailleurs indépendants) établissent leur Plan Particulier de Sécurité et de Protection de la Santé (PPSPS).

Pour les ouvriers amenés à intervenir sur l'emprise du chantier pour des travaux de terrassement, des règles de protection individuelles et collectives seront à définir. Toutes les démarches en matière d'Hygiène et de Sécurité lors d'intervention devront être effectuées selon la réglementation en vigueur, les normes applicables et les règles de l'art.

Ces notions seront à développer dans un cahier des charges de travaux.

17. MEMOIRE DE LA POLLUTION ET SERVITUDES

Dans la mesure où des contaminations résiduelles devraient rester en place, notamment en lien avec la potentielle mise en œuvre d'une encapsulation étanche sur site, il conviendra de conserver en mémoire ces dernières par l'intermédiaire de la réalisation d'un dossier de type servitude.

L'ensemble des éléments associés à la restriction des usages et les servitudes associées devra faire l'objet d'un dossier de servitude.

Les sols qui seront laissés en place suite au réaménagement du site présenteront des concentrations résiduelles en certains polluants (notamment métalliques). Par ailleurs, l'historique du site étant complexe, on ne peut exclure la présence de pollutions remarquables ponctuelles dans les sols qui n'auraient pas été identifiées lors des différentes phases de diagnostics préalables aux travaux.

Afin de garantir la mémoire de ces pollutions résiduelles, des zones d'incertitudes et de ces risques particuliers, les restrictions d'usages suivantes seront à mettre en place dans le cadre d'une Servitude d'Utilité Public (SUP) sur l'ensemble du périmètre du site KLEBER.

- En cas d'aménagement différents de ceux définis dans le présent plan de gestion, une mise à jour du schéma conceptuel du site et de l'évaluation des risques sanitaires devra être réalisée afin de valider la faisabilité du projet envisagé (un plan de localisation des différents types d'aménagements validés par le plan de gestion sera à annexer au dossier de servitude) ;
- L'ensemble des sols du site devra présenter un couvert végétal afin de limiter l'envol de poussières, et les zones fréquentées par le public recouverte (apport de terre saine) pour éviter tout contact direct avec les sols ;
- L'accès au site par le public sera limité aux espaces publics créés pour eux dans la partie ouest du site ;
- La plantation d'arbres fruitiers est à proscrire, à l'exception des zones dédiées aux jardin potager et verger à vocation expérimentale, mises en œuvre sur sol reconstitué à partir d'un mélange de matériaux les moins pollués, de terre végétale et de compost.

18. CONDITIONS DE VALIDITÉ ET ÉVALUATION DES INCERTITUDES

18.1. CONDITIONS DE VALIDITÉ DES RÉSULTATS

Les conclusions et recommandations proposées dans le présent rapport sont fondées sur :

- Les données écrites et orales fournies au consultant par le client
- Les informations orales obtenues par le consultant lors des réunions et interviews sur le site. Ces informations sont considérées comme complètes et exactes
- Les observations faites sur le site par le consultant
- Les bases de données publiques et institutionnelles accessibles

L'approche utilisée est conforme à la pratique professionnelle en vigueur en France.

Les observations, mesures et analyses en laboratoire réalisées dans le cadre de cette étude sont situées en des points spécifiques. On ne peut pas exclure des conditions sensiblement différentes en d'autres points.

La liste des données écrites obtenues et des bases de données consultées, les visites de sites et conversation orales ayant contribué à l'information sont synthétisées dans le présent document.

Ce rapport ne tient évidemment pas compte des données non-fournies ou fournies postérieurement à sa date d'émission.

18.2. ÉVALUATION DES INCERTITUDES

Il existe une incertitude concernant le repositionnement exact des anciennes installations recensées sur le site et des précédentes investigations réalisées, ces dernières ayant été repositionnées depuis un plan non géoréférencé sur le plan du projet d'aménagement. Des repères communs (tels que les limites cadastrales ou des bâtiments existants) ont été utilisés pour repositionner ces informations. L'incertitude sur le positionnement des installations et sondages est estimé de l'ordre du mètre et n'est pas considérée comme susceptible de remettre en cause les conclusions de la présente étude.

Les sondages ponctuels ne peuvent être exhaustifs. Aussi, la présence d'une pollution non reconnue à ce jour ne peut être exclue.

19. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Animée par une volonté de mener un renouvellement urbain durable pour limiter « l'artificialisation nette » du territoire, la Métropole du Grand Nancy, en collaboration étroite avec les communes concernées, a décidé de soutenir les projets de requalification de friches urbaines dans le cadre de projets urbains d'envergure.

En 2019, la Métropole a défini au travers de son plan d'action 2019-2021 pour la Biodiversité, des orientations sur des sites « démonstrateurs » avec mise en œuvre de démarches innovantes en matière de reconquête de la biodiversité, parmi lesquels le site de l'ancienne caserne Kleber localisé à l'Est du centre-ville de Nancy, sur le ban communal d'Essey-lès-Nancy.

La Métropole du Grand Nancy a mandaté le groupement ARTELIA / PHYTORESTORE / ECOLOR pour la réalisation d'une étude environnementale sur l'emprise de la future « Coulée Verte » au droit de l'ancienne friche Kleber. L'étude doit garantir la bonne intégration paysagère et fonctionnelle de ces aménagements et présente donc un double objectif :

- Assurer l'amélioration du potentiel écologique du site (restauration d'habitats d'espèces protégées potentiellement présentes sur le site, plantation d'espèces végétales favorisant l'installation de nouvelles espèces, intégration des systèmes de management de la pollution à son environnement) ;
- Assurer la compatibilité sanitaire du site réaménagé avec les usages projetés au moyen d'une gestion exemplaire des pollutions présentes par phytomanagement.

Les diagnostics écologiques et environnementaux réalisés lors de l'étape 1 ont permis de mettre en évidence :

1. Synthèse des inventaires écologiques

Aucun **enjeu majeur** n'est à signaler au droit de la zone d'étude. Plusieurs **enjeux élevés** sont recensés et correspondent aux friches herbacées, éléments arbustifs, arbres à cavités et habitats aquatiques. Aucun **enjeu moyen** n'est à signaler. Les **enjeux faibles** correspondent aux friches à Saule Marsault, à la friche Buddleja, à la friche herbacée eutrophe et aux éléments arborés non favorables aux espèces patrimoniales, mais pouvant abriter d'autres espèces de faune. Les **enjeux très faibles** correspondent aux voiries défavorables à la faune et à la flore.

2. Synthèse des diagnostics « pollution » et « agronomie »

Observations terrain :

ARTELIA a réalisé des investigations sur les sols et les gaz du sol :

- 19 sondages ont donc été réalisés du 10 au 11 mars 2022 et 23 échantillons de sols ont été prélevés ;
- Pose de 3 piézajirs suivi de 2 campagnes de prélèvements (en mars et en août 2022).

Les investigations ont permis de caractériser la nature des terrains sur le site :

- 0 – 1 m : remblais limoneux sablo-graveleux ou terre végétale ;
- 1 – 2 m : marnes beiges à vertes et présence de passage limoneux localement ;
- Présence de blocs ou d'une dalle béton observée au droit des sondages S2, S3, S4 vers 1m de profondeur.

Résultats du diagnostic agronomique :

Le sol présente une faible valeur en matière organique totale. Il apparaît nécessaire de la relever afin d'améliorer les propriétés physiques, chimiques, et biologiques du sol. Un apport de compost agronomique devra être mis en œuvre pour améliorer la qualité agronomique des sols.

Résultats du diagnostic pollution :

- Présence de **HAP** au droit du sondage S17 entre 1 et 2 m de profondeur avec une concentration de 120 mg/kg : cet impact est dans la même gamme de teneur que les prélèvements P100 et P15 (concentrations en HAP entre 102 et 138 mg/kg) localisés à quelques dizaines de mètres (diagnostic ARTELIA 2016). Les échantillons Pza-1 et S7 (remblais) permettent de délimiter la **zone de pollutions concentrées** au sud et à l'ouest ;

- Des concentrations anormales en hydrocarbures C10-C40 et As, Cr, Pb et Ni sur brut réparties de manière aléatoire principalement dans les remblais entre 0 et 2m, reflétant la qualité intrinsèque des remblais (probablement en lien avec les différentes phases de construction / démolition de la caserne).
- Détection de composés organiques volatils (BTEX et hydrocarbures aliphatiques) dans les gaz du sol au droit des 3 piézais prélevés.

Le présent rapport correspond à l'Etape 2 dont l'objectif est d'élaborer un projet opérationnel de gestion par phytomanagement via la réalisation d'un Plan de Gestion global, intégrant les enjeux de biodiversité au même niveau que les enjeux de maîtrise des pollutions.

Sur la base des investigations réalisées, les résultats de l'étude ont permis de conclure à :

- Des risques sanitaires acceptables pour l'inhalation de substances gazeuses au droit du site KLEBER pour le projet de reconversion retenu : création d'un parc/espace paysager ouvert au public ;
- La réalisation d'un bilan coût/avantage pour le traitement des sources de pollution concentrée en HAP. Le bilan coût/avantage réalisé par ARTELIA, lequel constitue un outil d'aide à la décision du maître d'ouvrage quant à la solution à retenir, traduit un bilan favorable à la solution de traitement par excavation / mise en andain / phytotechnologies des sources sols concentrées en HAP, principalement en lien avec les critères environnementaux et d'intégration paysagère de cette méthode : traitement permettant une dégradation des hydrocarbures (HAP) grâce aux racines et des micro-organismes associés de la plante, en disposant les sols en andain avec une gestion des eaux de ruissellement par filtres plantés / aménagements paysagers intégrés ;
- Des coûts de traitement des sources sols de l'ordre de 1,75 M€ HT, auxquels s'ajoutent les coûts liés aux aménagements annexes du site (panneaux pédagogiques ; plantations haies, arbres et arbustes : platelage ; gîtes à reptiles ; traitement Renouée du Japon et Robinier faux-acacia et Buddleja) portant l'enveloppe globale du réaménagement du site à environ 2 M€ HT ;
- La gestion des pollutions diffuses et résiduelles par phytostabilisation / couverture végétale, et mise en place de restrictions d'accès des usagers et d'aménagements permettant la maîtrise des accès des futurs usagers :
 - En cas d'aménagement différents de ceux définis dans le présent plan de gestion, une mise à jour du schéma conceptuel du site et de l'évaluation des risques sanitaires devra être réalisée afin de valider la faisabilité du projet envisagé (un plan de localisation des différents types d'aménagements validés par le plan de gestion sera à annexer au dossier de servitude) ;
 - L'ensemble des sols du site devra présenter un couvert végétal afin de limiter l'envol de poussières, et les zones fréquentées par le public recouverte (apport de terre saine) pour éviter tout contact direct avec les sols ;
 - L'accès au site par le public sera limité aux espaces publics ;
 - La plantation d'arbres fruitiers est à proscrire.

Les résultats du Plan de Conception Travaux réalisé dans le cadre de l'Etape 3 de l'étude et visant à fiabiliser le scénario de gestion identifié et aider au dimensionnement des travaux de réhabilitation en limitant les incertitudes par la réalisation d'essais de faisabilité et de traitabilité en laboratoire sont présentés dans le rapport de Plan de Conception des Travaux.