

O.N.E.M.A. et proposition de mesures compensatoires

Construction d'une unité de méthanisation
Suez



Rainette
1 rue des fonds hanons,
59144 JENLAIN

info@rainette-ecologie.com

www.rainette-ecologie.com

Date
21.01.2026

Version 1.7

Révision

N° de version	Date	Rédaction	Validation	Objet de la mise à jour
1.1	25/09/2023	Rémy Berrabah, Noémie Taravaud, Claryse Leproux, Anna Lisowski	Laura BLERVAQUE	/
1.2	09/10/2023	Coralie FOUCHER	Laura BLERVAQUE	Mise à jour suite aux échanges avec le porteur de projet
1.3	06/05/2024	Coralie FOUCHER	Laura BLERVAQUE	Mise en cohérence des dossiers
1.4	24/05/2024	Coralie FOUCHER	Laura BLERVAQUE	Modifications liées à la mise en cohérence des dossiers
1.5	10/07/2024	Coralie FOUCHER	Laura BLERVAQUE	Mise à jour de la cartographie liée à la mesure C1.4 pour une meilleure lisibilité
1.6	18/09/2025	Coralie FOUCHER	Camille VILLEDIEU	Reprises du document avec un nouveau scénario de compensation (consensus entre différents acteurs)
1.7	21/01/2025	Coralie FOUCHER	Camille VILLEDIEU	Révision des habitats compensatoires projetés et annexion d'un suivi des travaux (second passage en CSRPN)

Sommaire

Révision	1
Sommaire.....	2
Table des illustrations	5
1. Contexte et objectifs de l'étude.....	7
1.1. Contexte géographique	7
1.2. Contexte réglementaire	7
1.3. Objectifs de l'étude.....	7
1.4. Contexte réglementaire	7
2. Analyse des méthodes	12
2.1. Equipe missionnée.....	12
2.2. Zones d'étude	12
2.3. Dates d'intervention.....	12
2.4. Méthodes d'évaluation des fonctions des zones humides	14
2.4.1. Fonctions évaluées par la méthode.....	15
2.4.2. Zones prises en compte pour l'évaluation des fonctions	16
2.4.3. Eléments fournis par la méthode	16
2.4.3.1. Diagnostic de contexte du site	17
2.4.3.2. Diagnostic fonctionnel du site	18
2.4.4. Evaluation de la vraisemblance d'une équivalence fonctionnelle	21
3. Evaluation de l'impact du projet sur les zones humides et proposition de mesures d'évitement et de réduction d'impacts	23
3.1. Impact du projet sur les zones humides	23
3.2. Mesures d'évitement et de réduction d'impact	23
3.2.1. Précautions en phase travaux.....	23
3.2.1.1. Délimitation des emprises du chantier	23
3.2.1.2. Gestion des zones de dépôts	24
3.2.1.3. Devenir des terres excédentaires	24
4. Evaluation de l'impact résiduel du projet sur les zones humides	25
4.1. Sur le plan quantitatif	25
4.2. Sur le plan fonctionnel	26
4.2.1. Enjeux sur le territoire où est inséré le site impacté.....	26
4.2.1.1. Concernant les fonctions hydrologiques et biogéochimiques	26
4.2.1.2. Concernant les fonctions d'accomplissement du cycle biologique des espèces.....	26
4.2.2. Enjeux sur le site impacté	27
4.2.2.1. Concernant les fonctions hydrologiques et biogéochimiques	27
4.2.2.2. Concernant les fonctions d'accomplissement du cycle biologique des espèces.....	29
4.2.3. Impact envisagé de l'aménagement.....	30

5.	Mesures compensatoires, d'accompagnement et de suivi	31
5.1.	Définition des objectifs de compensation	31
5.1.1.	Rappel concernant le SDAGE Artois-Picardie	31
5.1.2.	Rappel concernant le SAGE du Delta de l'AA	32
5.1.3.	Objectifs qualitatifs	33
5.2.	Description du site de compensation	33
5.2.1.	Description générale	33
5.2.2.	Habitats présents au sein du site	36
5.2.3.	Potentialités faunistiques et floristiques du site	40
5.2.3.1.	Potentialités floristiques.....	40
5.2.3.2.	Potentialités faunistiques	40
5.2.4.	Délimitation des zones humides	41
5.2.4.1.	Selon le critère pédologique	41
5.2.4.2.	Selon le critère floristique	53
5.2.4.3.	Conclusion	53
5.2.5.	Enjeux du site compensatoire.....	54
5.2.5.1.	Méthode.....	54
5.2.5.2.	Enjeux à l'échelle du territoire.....	54
5.2.5.3.	Enjeux à l'échelle du site.....	55
5.3.	Description des actions écologiques envisagées	57
5.3.1.	Définition des objectifs de compensation propres au site ciblé	57
5.3.2.	Description des actions écologiques envisagées (fiches actions)	59
5.4.	Examen de la compensation	80
5.4.1.	Sur le plan fonctionnel.....	80
5.4.1.1.	Vérification des principes de proximité géographique et d'équivalence.....	80
5.4.1.2.	Vérification du principe d'efficacité.....	80
5.4.1.3.	Vérification de l'application des principes d'additionnalité écologique et d'équivalence fonctionnelle	82
6.	Mesures d'accompagnement et de suivi.....	93
6.1.	Sur le plan de la pérennité de la mesure	93
6.2.	Mesures d'accompagnement.....	93
6.2.1.	Réalisation d'un plan de gestion sur les sites de compensation ex-situ intégrant les mesures de compensation A3 (Code A9)	93
6.2.2.	Mesures de transfert et de récolte pour la flore A4 (Code A5.b)	93
6.3.	Mesures de suivis.....	94
6.3.1.	Suivis écologiques	94
6.4.	Synthèse des mesures	94
7.	Annexes	98
8.	Bibliographie	107
8.1.	Bibliographie générale	107
8.2.	Bibliographie liée à l'expertise floristique	107

8.3.	Bibliographie liée à l'expertise « Zones humides ».....	109
-------------	--	------------

Table des illustrations

FIGURES

Figure 1 : Insertion paysagère du projet dans le paysage.....	11
Figure 2 : Mobilisation de la méthode tout au long de la séquence ERC (source O.N.E.M.A 2016)	14
Figure 3 : Déterminants du fonctionnement général d'une zone humide (source O.N.E.M.A., 2016)	15
Figure 4 : Sous-fonctions évaluées par la méthode (source : O.N.E.M.A., 2016)	15
Figure 5 : Zones prises en compte pour évaluer les fonctions d'une zone humide (source : O.N.E.M.A., 2016).....	16
Figure 6 : Présentation simplifiée du diagnostic du contexte et du diagnostic fonctionnel d'un site (source : O.N.E.M.A., 2016).....	17
Figure 7 : Représentation simplifiée des indicateurs dans l'environnement du site et des sous-fonctions correspondantes (source : O.N.E.M.A., 2016)	20
Figure 8 : Représentation simplifiée des indicateurs dans le site et des sous-fonctions correspondantes (source : O.N.E.M.A., 2016)	20
Figure 9 : Zone humide impactée par le projet (bordé en orange).....	25
Figure 10 : Extrait de la liste partielle prioritaire © CLE, 3 octobre 2024.....	32
Figure 11 : Compléments d'inventaire réalisés par le Bureau Local de la Biodiversité	40
Figure 12 : Schéma de l'étrépage sur les horizons du sol.....	60
Figure 13 : Schéma représentant une lisière idéale, © CG Val de Marne.....	70

PHOTOS

Photo 1 : Exemple de dispositifs de balisage (source : Internet).....	23
Photos 2 : Vues d'ensemble de la zone d'étude. Photos prises sur site © Rainette 2023.....	33
Photos 3 : Habitats présents sur la zone compensatoire © Rainette 2023	36
Photo 4 : Robinier faux-acacia (<i>Robinia pseudoacacia</i>) et Cornouiller soyeux (<i>Cornus sericea</i>) © Rainette 2023.....	37
Photos 5 : Vues d'ensemble de la zone d'étude. Photos prises sur site © Rainette 2023	41
Photo 6 : Profil pédologique d'un THALASSASOL- REDOXISOL pachique, à horizon rédoxique de moyenne profondeur et réductique de profondeur (Sondage P5) – Photo prise sur site, © Rainette, 2023.....	47
Photo 7 : Profil pédologique d'un THALASSASOL- REDOXISOL pachique, à horizon rédoxique de surface et réductique de profondeur (Sondage P6) – Photo prise sur site, © Rainette, 2023.....	47
Photo 8 : Profil pédologique d'un THALASSASOL- REDOXISOL moyennement épais (Sondage P8) – Photo prise sur site, © Rainette, 2023.....	48
Photo 9 : Profil pédologique d'un THALASSASOL- REDOXISOL pachique à horizon réductique de profondeur (Sondage P10) – Photo prise sur site, © Rainette, 2023.....	48

CARTES

Carte 1 : Localisation du projet.....	9
Carte 2 : Plan du projet	10
Carte 3 : Délimitation de la zone humide impactée par le projet.....	13
Carte 4 : Localisations des sondages pédologiques (P).....	19
Carte 5 : Localisation des sites de compensation retenus dans le cadre de la compensation « zones humides ».....	34
Carte 6 : Localisation de l'ensemble des sites de compensation dans le cadre de la construction de l'usine de méthanisation	35
Carte 7 : Cartographie des habitats – site de compensation	38
Carte 8 : Localisation des espèces exotiques envahissantes	39
Carte 9 : Analyse de la zone d'étude à partir de la carte géologique	42
Carte 10 : Analyse de la zone d'étude à partir de la carte topographique IGN	43
Carte 11 : Localisation des sondages pédologiques	45
Carte 12 : Carte des Unités Typologiques de Sols (UTS).....	51

Carte 13 : Localisation des Zones humides / Zones non humides	52
Carte 14 : Cartographie des habitats projetés	79
Carte 15 : Habitats projetés suite aux actions écologiques envisagées	97

TABLEAUX

Tableau 1 : Liste de personnes ayant travaillé sur le projet.....	12
Tableau 2 : Dates d'intervention	12
Tableau 3 : Classement des sondages selon le critère pédologique et l'arrêté de 2008 modifié en 2009.....	49
Tableau 4 : Liste des essences préconisées pour la création de prairies humides (d'après le CBNBI, 2011)	65
Tableau 5 : Liste des essences préconisées pour la création d'un boisement humide (d'après de CBNBI, 2011)	69
Tableau 6 : Synthèse sur l'équivalence fonctionnelle par indicateur dans les sites, selon l'outil ONEMA et selon les dires d'expert	83
Tableau 7 : Synthèse des habitats impactés, recréés, restaurés ou conservés	95
Tableau 8 : Comparaison des surfaces impactées et compensées par milieux.....	96

ANNEXES

Annexe 1 : Suivi et reporting des travaux d'aménagement du site de compensation en lien avec l'autorisation D-IOTA-145959-878-011 « zone humide »	98
---	----

1. Contexte et objectifs de l'étude

1.1. Contexte géographique

Le projet est situé au sud-est de la commune de Grande-Synthe, dans le département du Nord (59).

- La carte en [page suivante](#) localise globalement la zone d'étude du projet, plus précisément illustrée par la photographie aérienne associée.

1.2. Contexte réglementaire

Toute opération susceptible d'avoir un impact direct ou indirect sur le milieu aquatique (cours d'eau, lac, eaux souterraines, zones inondables, zones humides...) est soumise à l'application de la **Loi sur l'eau**. Cette dernière instaure une nomenclature des opérations soumise à autorisation et à déclaration. Cette nomenclature comprend une **rubrique 3.3.1.0** sur l'assèchement, la mise eau, l'imperméabilisation et les remblais de zones humides ou de marais. Ainsi, tout projet conduisant à la disparition d'une surface de zone humide comprise entre 0,1 ha et 1 ha est soumis à **déclaration**, et à **autorisation** si la surface est supérieure à 1 ha.

Dans ce contexte, les porteurs de projets doivent pouvoir clairement identifier si leur projet est situé en zone humide, ainsi que la surface potentiellement impactée par ce dernier.

Afin de répondre à cette obligation réglementaire, et face au manque d'appréciation partagée des critères de définition et de délimitation des zones humides pour l'application de la police de l'eau, ces derniers ont été précisés dans **l'arrêté du 24 juin 2008 modifié par l'arrêté du 24 juillet 2019**. Cet arrêté stipule que la délimitation des zones humides repose sur 2 critères : le critère pédologique (étude des sols) et le critère botanique (étude de la végétation).

La circulaire du 18 janvier 2010 en précise les modalités de mise en œuvre.

1.3. Objectifs de l'étude

Dans le cadre de la construction d'une unité de méthanisation des boues des stations d'épuration de la CUD, la société Rainette a été missionnée pour réaliser un diagnostic écologique comprenant des inventaires faune / flore plus une délimitation de zones humides.

1.4. Contexte réglementaire

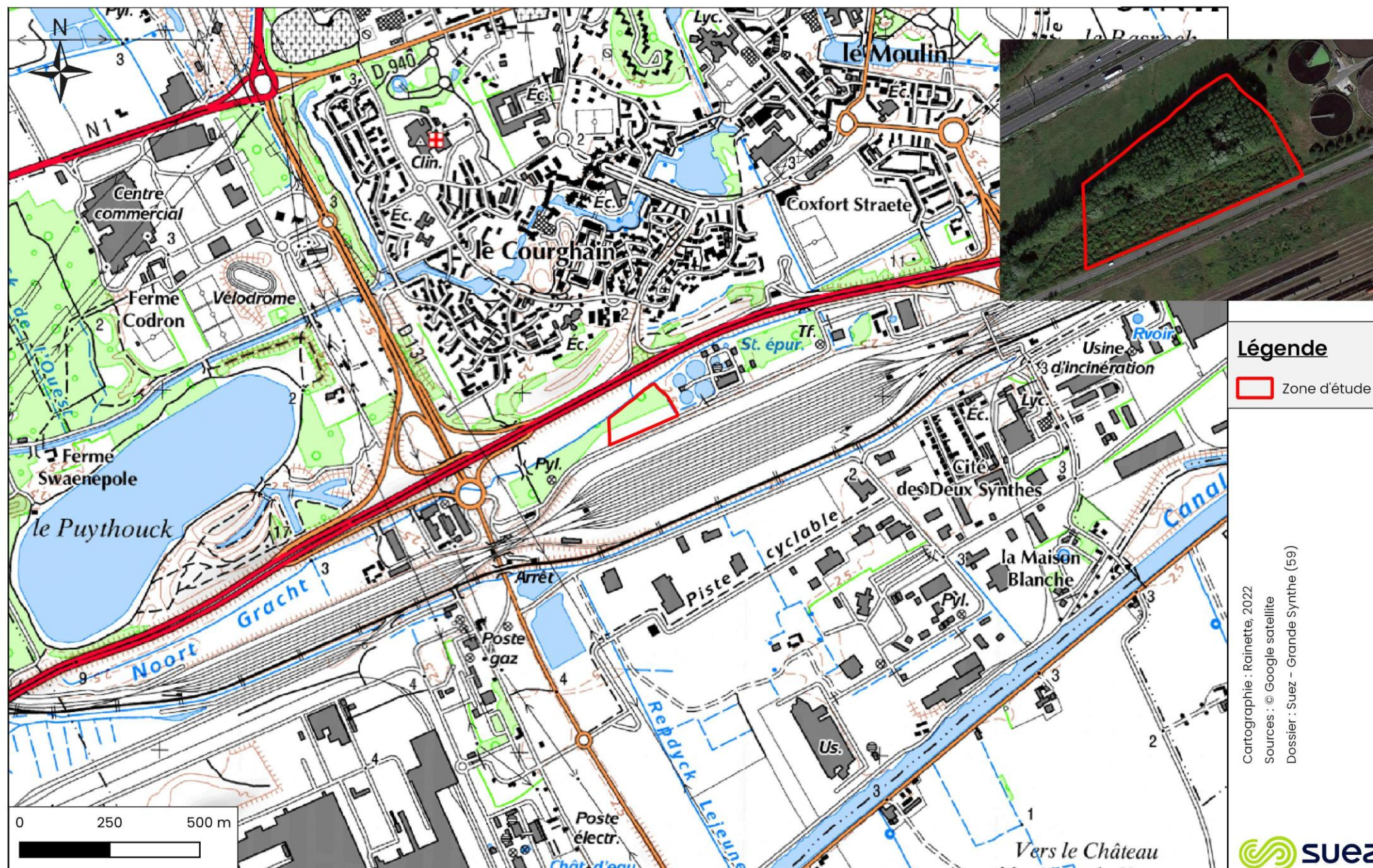
La parcelle concernée par le projet est en partie classée comme humide, en application de l'arrêté du 24 juin 2008 modifié le 1^{er} octobre 2009, et de l'article L.211-1 du Code de l'environnement, modifié par l'article 23 de la Loi 2019-773 du 24 juillet 2019.

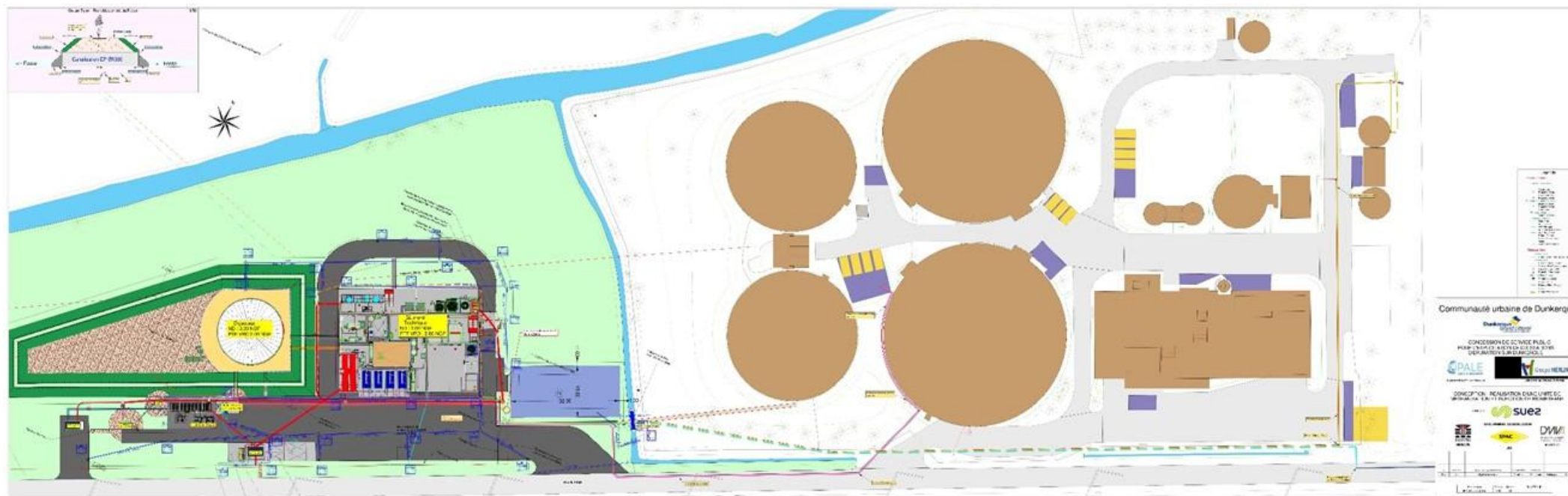
Or, les Schémas Directement d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) 2022-2027 prescrivent que les IOTA (projets d'installations, ouvrages, travaux et activités) détériorant partiellement ou totalement des zones humides doivent s'accompagner d'une restauration de zones humides équivalentes sur le plan fonctionnel, sans que la surface de compensation ne soit inférieure à la surface de la zone humide détruite, selon des ratios définis par le SDAGE (**Chapitre 5.1 Définition des objectifs de compensation**).

Depuis 2016, la **méthode nationale d'évaluation des fonctions des zones humides**, élaborée par l'O.N.E.M.A. (GAYET et al., 2016), permet d'appréhender les principales fonctions assurées par les zones humides sur le plan écologique, biogéochimique et hydrologique. Cette méthode, applicable tout au long de la phase de conception puis de réalisation d'un projet, permet d'appréhender les différentes fonctions affectées par ce dernier, et d'orienter sur le choix du site compensatoire et des actions à

mettre en œuvre afin de satisfaire à la séquence nationale « Éviter/Réduire/Compenser ». Il s'agit à ce jour de la seule méthode reconnue au niveau national pour l'évaluation des fonctions des zones humides.

La présente étude a donc pour finalité d'appréhender la perte fonctionnelle au niveau de la zone humide impactée et d'évaluer la vraisemblance d'une compensation au niveau du site compensatoire proposé, par la mise en œuvre de la méthode O.N.E.M.A.





Ce plan est également disponible en annexe du dossier pour une meilleure lisibilité des textes et aménagements liés.

Carte 2 : Plan du projet



2. Analyse des méthodes

2.1. Equipe missionnée

Les personnes ayant travaillé sur les investigations de terrain ainsi qu'à la rédaction de cette étude sont nommées ci-dessous :

Tableau 1 : Liste de personnes ayant travaillé sur le projet

Cheffe de projet		Anna LISOWSKI
Chargés d'étude	Flore	Clarysse LEPROUX
	Faune	Claire POIRSON
Pédologie		Rémy BERRABAH / Elsa YKEN / Noémie TARAUD
Cartographes		Ensemble des personnes mobilisées sur le dossier

2.2. Zones d'étude

La caractérisation des zones humides porte à la fois sur le site impacté et sur le site de compensation, ceci afin de comparer la perte fonctionnelle associée au projet avec le gain fonctionnel attendu à l'issue des actions écologiques (et par extension apprécier la vraisemblance d'une équivalence fonctionnelle entre les 2 sites).

Ainsi, les zones d'étude où sont réalisés les relevés nécessaires à la mise en œuvre de la méthode ONEMA correspondent :

- A la zone humide détruite sur le site du projet ;
- A la zone humide restaurée dans le cadre de la compensation (site de compensation). Ce site compensatoire et les modalités d'expertise de celui-ci sont présentés au [chapitre 5.2](#) dans la suite du rapport.

La zone humide impactée de façon permanente par le projet s'étend sur une surface de **0.9988 ha**.

- ☞ La délimitation de la surface de zone humide sur le site du projet est présentée dans le rapport « [Etude d'impacts – volet faune/flore habitat et Incidences Natura 2000](#) », chapitre « [Délimitation des zones humides](#) » (Rainette, Mai 2024).
- ☞ La carte en page suivante présente la délimitation de la zone d'étude liée à la caractérisation des zones humides sur le site impacté.

2.3. Dates d'intervention

Tableau 2 : Dates d'intervention

Expertise pédologique	24/10/2022
	20 et 21/02/2023
Expertise floristique	08/06/2022
	08/06/2023

Délimitation de la zone humide impactée par le projet



Légende

-  Zone d'étude
-  Emprise projet
-  Zone humide

Cartographie : Rainette, 2024
Sources : © Google satellite
Dossier : Suez - Grande-Synthe (59)

2.4. Méthodes d'évaluation des fonctions des zones humides

L'évaluation des fonctions des zones humides a été mise en place principalement pour permettre de répondre au cadre réglementaire qui inscrit les principes d'évitement et de réduction des impacts sur les zones humides dans les règles de conception d'un projet de moindre impact, déclinés dans les « Lignes directrices » nationales sur la séquence éviter, réduire et compenser les impacts sur les milieux naturels

Afin de guider le Maître d'ouvrage dans ses propositions d'actions suite à un projet impactant une zone humide, l'O.N.E.M.A. a conçu un guide de la méthode nationale d'évaluation des fonctions des zones humides, permettant d'évaluer les fonctionnalités de ces zones humides à partir du même outil que celui utilisé par le service instructeur.

Les résultats de l'étude de fonctionnalité doivent permettre d'appréhender les fonctions affectées, et d'orienter sur le choix du site compensatoire et des actions à mettre en place afin de satisfaire à la règle demandée par l'administration ERC (Eviter – Réduire – Compenser).

Le pétitionnaire dispose ainsi des résultats standardisés issus de la méthode nationale lui permettant d'établir un bilan des fonctionnalités par comparaison entre les gains obtenus sur le site compensatoire et les pertes générées sur la zone du projet.

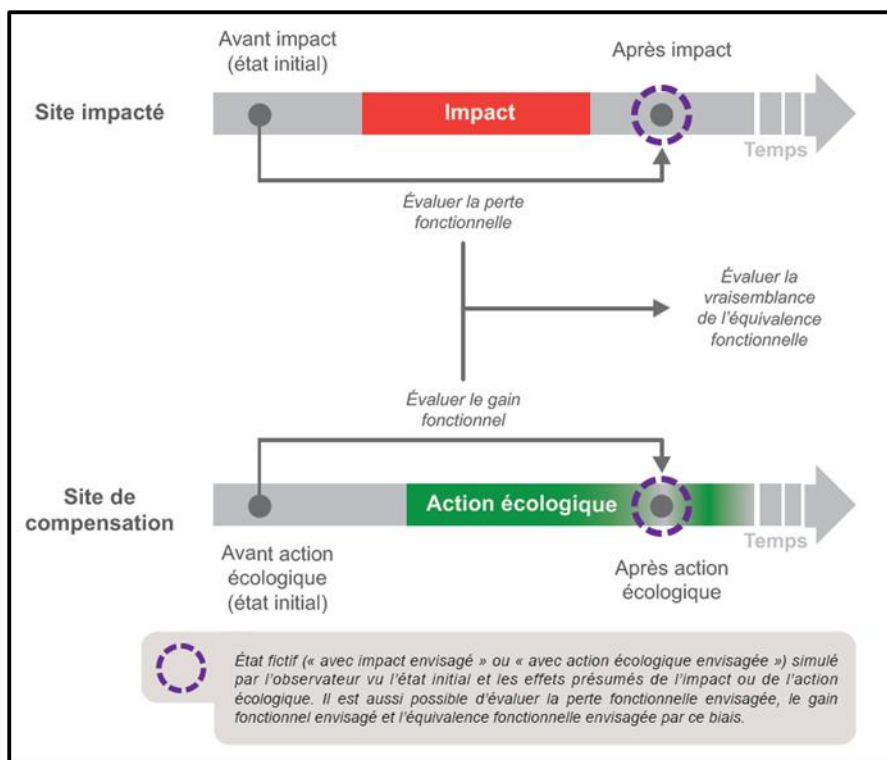


Figure 2 : Mobilisation de la méthode tout au long de la séquence ERC (source O.N.E.M.A 2016)

2.4.1. Fonctions évaluées par la méthode

Dans le cadre de la méthode employée, la notion de « **fonction** » correspond aux actions qui ont lieu naturellement dans les zones humides, et qui résultent d'interactions entre la structure de l'écosystème et les processus physiques, chimiques et biologiques. L'intensité de ces fonctions résulte notamment de leurs caractéristiques physiques, chimiques et biologiques, de la position des zones humides dans le bassin versant, du paysage environnant, du type de système hydrogéomorphologique et de leurs interactions.

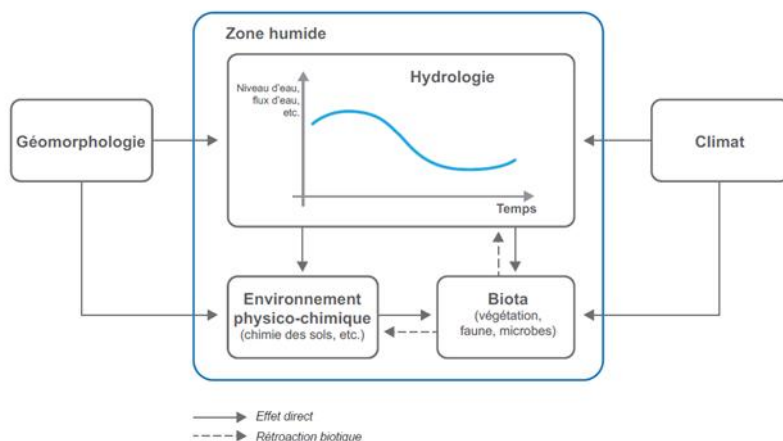


Figure 3 : Déterminants du fonctionnement général d'une zone humide (source O.N.E.M.A., 2016)

La méthode élaborée par l'O.N.E.M.A. évalue **3 grands types de fonctions** :

- Les **fonctions hydrologiques**, influençant le régime des eaux ;
- Les **fonctions biogéochimiques**, modifiant la qualité des eaux ;
- Les **fonctions d'accomplissement du cycle biologique des espèces**, contribuant à la valeur patrimoniale et écosystémique des milieux.

Ces 3 fonctions sont déclinées en **10 sous-fonctions** reprises dans le schéma ci-dessous.

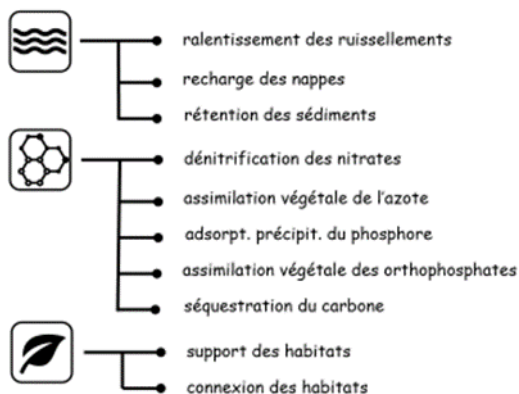


Figure 4 : Sous-fonctions évaluées par la méthode (source : O.N.E.M.A., 2016)

2.4.2. Zones prises en compte pour l'évaluation des fonctions

Le site (c'est-à-dire la zone humide considérée) constitue l'objet central de l'évaluation des fonctions, mais son écosystème fonctionne en interdépendance avec son environnement. Il est donc nécessaire de prendre en compte l'environnement dans lequel le site s'inscrit puisque cela influence les fonctions réalisées.

Pour l'évaluation des fonctions des zones humides, **5 zones** sont distinguées :

- Le site ;
- Sa zone contributive ;
- Sa zone tampon ;
- Son paysage ;
- Le cours d'eau auquel il est associé s'il se situe dans un système hydrogéomorphologique alluvial.

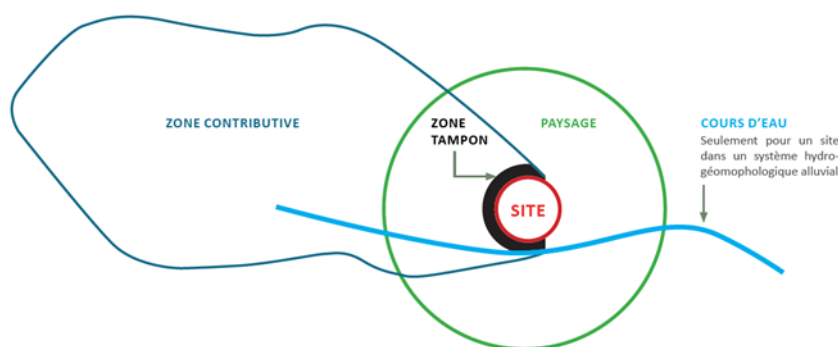


Figure 5 : Zones prises en compte pour évaluer les fonctions d'une zone humide (source : O.N.E.M.A., 2016)

Le site est l'unité spatiale au sein de laquelle sont évaluées les fonctions des zones humides. Ainsi, il peut être tout ou partie d'un système humide, mais doit se situer intégralement en zone humide et appartenir à un seul système hydrogéomorphologique.

La zone contributive du site est définie comme une étendue spatiale d'où proviennent vraisemblablement l'intégralité des écoulements superficiels et souterrains alimentant le site.

La zone tampon du site correspond au polygone dessiné dans un rayon de 50 m à l'extérieur du périmètre du site qui est inclus dans sa zone contributive.

Le paysage du site correspond au polygone dessiné dans un rayon de 1000 m autour du périmètre du site.

2.4.3. Eléments fournis par la méthode

A l'issue de l'application de la méthode, 2 diagnostics interdépendants sont fournis pour un site :

- Le diagnostic du contexte du site ;
- Le diagnostic fonctionnel du site.

Le premier constitue une description narrative du contexte physique, écologique et anthropique du site et de son environnement, tandis que le second consiste à évaluer l'intensité probable des sous-fonctions réalisées par le site, vu les caractéristiques du site et celles de son environnement.

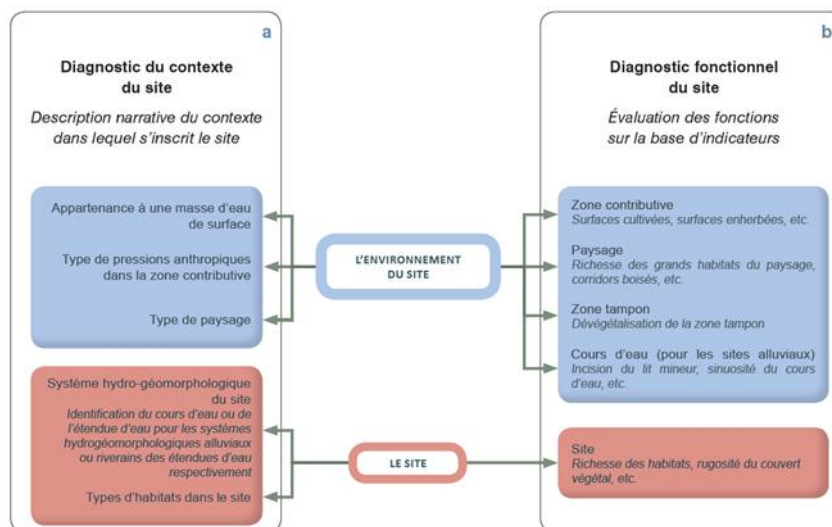


Figure 6 : Présentation simplifiée du diagnostic du contexte et du diagnostic fonctionnel d'un site (source : O.N.E.M.A., 2016)

2.4.3.1. Diagnostic de contexte du site

DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DU SITE

- L'appartenance à une masse d'eau de surface

La méthode préconise d'identifier la (les) masse(s) d'eau, plan d'eau ou de transition à laquelle appartient le site. L'identification des écoulements de surface en lien avec le site est donc indispensable.

- Les pressions anthropiques dans la zone contributive

Généralement, les activités anthropiques sont à l'origine de modifications importantes des modalités de circulation des eaux et génèrent d'importants flux de nutriments et de sédiments vers les hydrosystèmes. La méthode propose donc de décrire les pressions anthropiques dans la zone contributive du site, en se basant sur le mode d'occupation du sol, qui traduisent vraisemblablement des apports de nutriments et/ou de sédiments variables vers le site.

- Le type de paysage

La composition du paysage du site influence les flux potentiels d'individus entre le site et l'environnement extérieur, et affecte donc la fonction d'accomplissement du cycle biologique des espèces. En conséquence, la méthode propose de décrire les habitats présents au sein du paysage entourant le site (incluant les habitats naturels à semi-naturels jusqu'aux habitats plus artificialisés comme les étendues agricoles et les zones bâties).

DESCRIPTION DU SITE

- Le système hydrogéomorphologique

La méthode reconnaît, en amont de l'évaluation des fonctions, que les zones humides sont régies par différents types de fonctionnements hydrologiques, hydrogéologiques et hydrogéomorphologiques. **Il est donc important de définir le système hydrogéomorphologique auquel appartient le site.** Dans le cadre de la méthode, cinq systèmes hydrogéomorphologiques sont distingués dans le cadre de la méthode : alluvial, riverain des étendues d'eau, dépression, versant et bas-versant, et plateau.

- Les habitats

En caractérisant les habitats dans le site, il est admis que les communautés végétales sont intégratives des paramètres biotiques et abiotiques du site, et traduisent ainsi la réalisation des fonctions hydrologiques, biogéochimiques et d'accomplissement du cycle biologique des espèces dans leur ensemble. **La méthode propose donc de décrire les habitats présents dans le site au sens de la typologie EUNIS niveau 3**, en estimant la proportion du site occupée par chacun d'entre eux.

2.4.3.2. Diagnostic fonctionnel du site

L'intensité probable d'une sous-fonction dans un site est évaluée grâce à **des indicateurs** :

- Les indicateurs relevés **dans l'environnement du site** (zone contributive, zone tampon, paysage et cours d'eau éventuellement associé), indépendamment de la superficie de ce dernier, traduisent **l'opportunité** plus ou moins importante du site d'accomplir certaines sous-fonctions (appelée « opportunité fonctionnelle relative »).
- Les indicateurs mesurés **dans le site** traduisent quant à eux **la capacité** plus ou moins importante de ce dernier à accomplir les sous-fonctions étudiées, indépendamment ou non de sa superficie (capacité fonctionnelle relative ou absolue).

☞ La carte en [page suivante](#) localise les sondages (PC) réalisés dans le cadre du diagnostic fonctionnel du site.

De manière générale, plus un indicateur présente une valeur élevée, plus la sous-fonction à laquelle cet indicateur est associé aura l'opportunité ou la capacité de s'exprimer dans le site.

Localisation des sondages pédologiques (P)



Légende

-  Emprise projet
-  Sites compensatoires retenus pour les zones humides
-  Sondages pédologiques

Cartographie : Rainette, 2024
Sources : © Google Satellite
Dossier : SUEZ - Grande-Synthe (59)

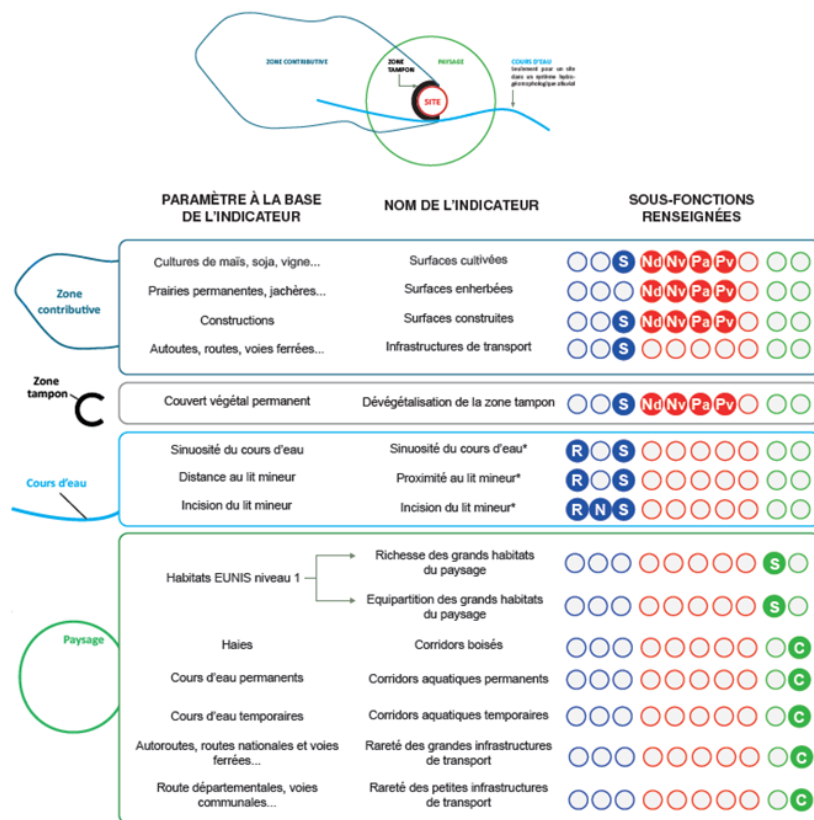


Figure 7 : Représentation simplifiée des indicateurs dans l'environnement du site et des sous-fonctions correspondantes (source : O.N.E.M.A., 2016)

* l'indicateur est spécifique aux sites dans des systèmes hydrogéomorphologiques alluviaux.

Les ronds pleins indiquent les sous-fonctions renseignées par l'indicateur :

- en bleu, les sous-fonctions hydrologiques : R Ralentissement des ruissellements N Recharge des nappes S Rétention des sédiments

- en rouge, les sous-fonctions biogéochimiques : Nd Dénitrification des nitrates Nv Assimilation végétale de l'azote

Pa Adsorption, précipitation du phosphore Pv Assimilation végétale des orthophosphates C Séquestration du carbone

- en vert, les sous-fonctions d'accomplissement du cycle biologique des espèces : S Support des habitats C Connexion des habitats

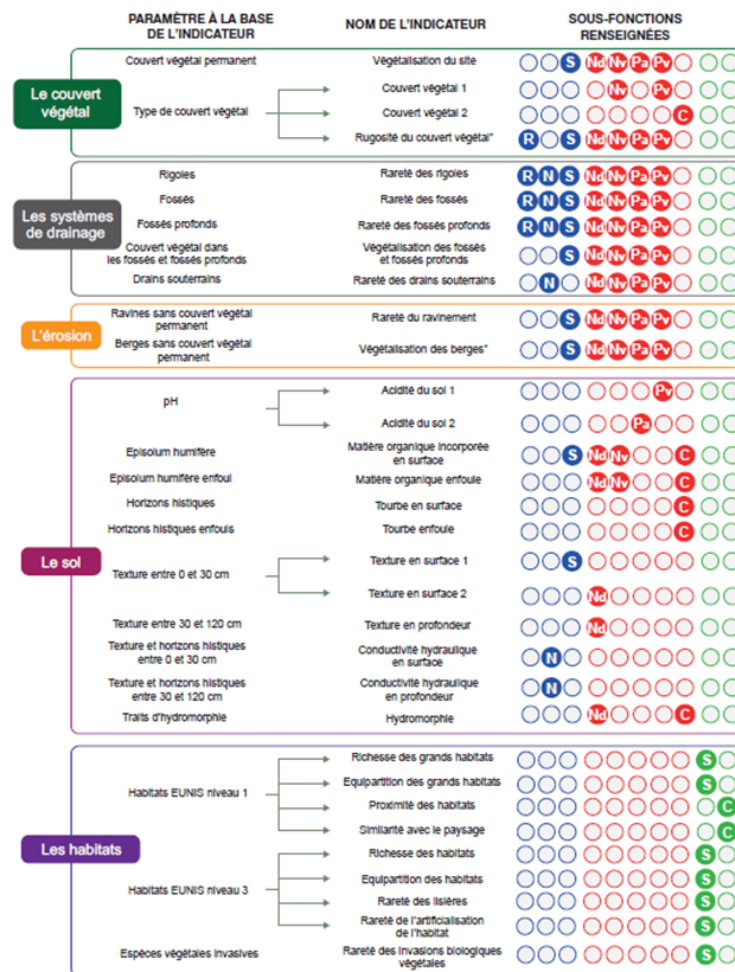


Figure 8 : Représentation simplifiée des indicateurs dans le site et des sous-fonctions correspondantes (source : O.N.E.M.A., 2016)

2.4.4. Evaluation de la vraisemblance d'une équivalence fonctionnelle

La méthode O.N.E.M.A. a été conçue de manière à ce que la compensation proposée respecte les principes suivants :

- Principe de proximité géographique ;
- Principe d'efficacité ;
- Principe d'équivalence fonctionnelle ;
- Principe d'additionnalité écologique.

Dans un premier temps, les principes de **proximité géographique et d'équivalence** sont évalués au travers d'une analyse de la similarité des diagnostics de contexte du site impacté avant impact et du site de compensation avec action écologique envisagée. Ces deux sites doivent alors réunir 5 conditions indispensables :

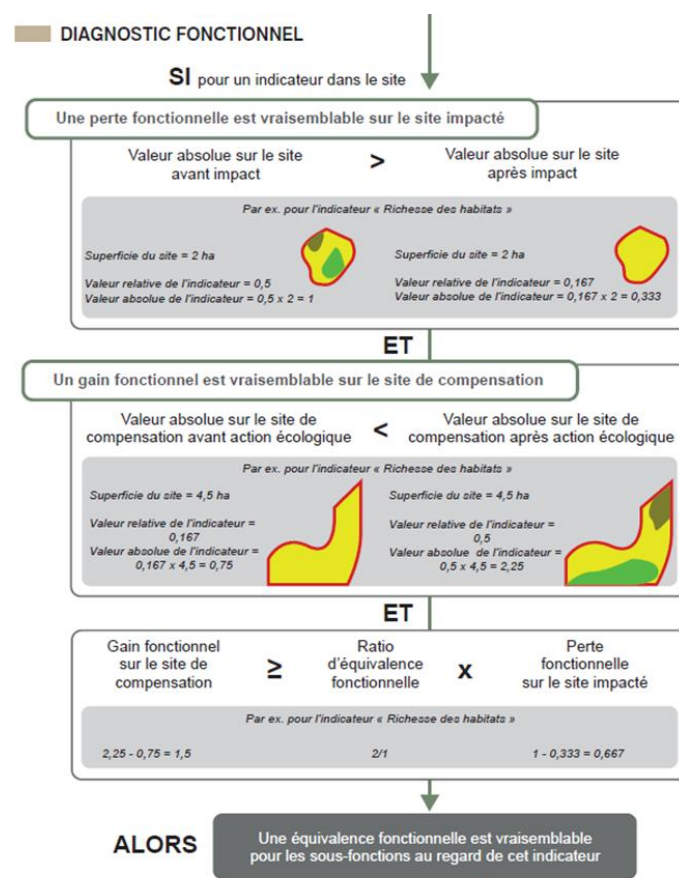
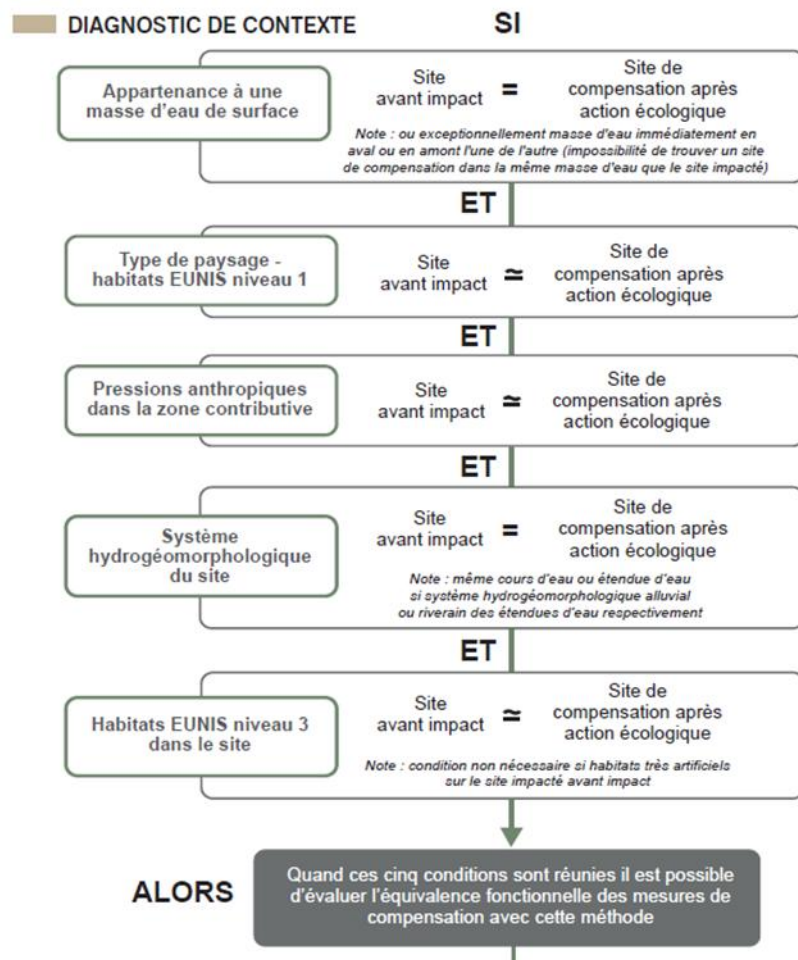
- Appartenir à la même masse d'eau de surface ;
- Présenter des pressions anthropiques similaires dans la zone contributive ;
- Présenter un paysage similaire ;
- Appartenir au même système hydrogéomorphologique ;
- Présenter des habitats similaires dans le site.

Si ces cinq conditions ne sont pas remplies, alors la méthode O.N.E.M.A. n'est pas pertinente pour évaluer l'efficacité des actions écologiques et de la vraisemblance d'une équivalence fonctionnelle.

Dans un second temps, les **principes d'additionnalité écologique et d'équivalence fonctionnelle** sont déterminés en comparant la perte fonctionnelle générée sur le site impacté, avec le gain fonctionnel (ou le déclin) observé sur le site de compensation après mise en œuvre des actions écologiques. Cette comparaison nécessite d'intégrer un **ratio d'équivalence fonctionnelle**, qui représente le rapport gain/perte à dépasser pour conclure quant à la vraisemblance d'une équivalence fonctionnelle.

Dans un premier temps, l'ensemble des informations utiles à l'application de cette méthode (valeur du pH, caractéristique des horizons histiques, épaisseur de l'épisolum humifère, épaisseur de l'horizon A enfoui, habitats EUNIS niveau 3...) sont relevées sur le terrain.

Par la suite, les valeurs de ces indicateurs sont intégrées à l'outil de simulation informatique fourni avec la méthode, et l'examen de la vraisemblance de la compensation est effectué au bureau.



- = Les caractéristiques des deux sites doivent être égales.
- ≈ Les caractéristiques des deux sites doivent être similaires sans être impérativement parfaitement égales. L'observateur vérifie cette similarité.
- Contours du site impacté et du site de compensation
- Habitats EUNIS niveau 3 dans les sites

Figure 8 : Récapitulatif de la démarche de la vraisemblance d'une équivalence fonctionnelle dans le cadre d'une compensation liée au zones humides (source : O.N.E.M.A., 2016)

3. Evaluation de l'impact du projet sur les zones humides et proposition de mesures d'évitement et de réduction d'impacts

3.1. Impact du projet sur les zones humides

Une étude de délimitation des zones humides a été effectuée en 2022 au niveau de la parcelle concernée par le projet, conformément à la réglementation en vigueur.

Cette étude a abouti au classement de la totalité du site en zone humide (voir rapport [Délimitation de zones humides – Construction d'une unité de méthanisation – Rainette SAS – décembre 2022](#)).

Dans le cadre du projet, une partie de cette zone humide sera détruite de manière définitive par la création d'une usine de méthanisation.

Ainsi, une surface de 0,9988 ha sera définitivement impactée par le projet et ses travaux.

3.2. Mesures d'évitement et de réduction d'impact

3.2.1. Précautions en phase travaux

L'impact du projet sur les zones humides n'a pu être évité lors de la conception du projet. Certaines mesures prises durant la phase de construction permettront néanmoins de réduire significativement cet impact, en limitant les risques de dégradation ou de destruction accidentelle de zones humides et d'habitats en contact, mais non concernées par le projet. Et permettant la restauration d'un secteur temporairement impacté en phase chantier.

3.2.1.1. Délimitation des emprises du chantier

En cohérence avec les mesures concernant le balisage des espèces floristiques protégées et patrimoniales présentées dans le rapport « [Etude Faune, Flore et Habitats et Délimitation des zones humides – Construction d'une usine de méthanisation – Rainette SAS – Mai 2024](#) » et pour éviter toute dégradation accidentelle, les emprises du chantier devront se limiter aux emprises concernées par le projet et être délimitées par des dispositifs suffisamment solides, visibles et durables pour garantir leur efficacité pendant toute la durée du chantier (rubalise à proscrire, préférer l'utilisation de grilles HERAS par exemple).

L'ensemble des interventions liées au chantier devront se dérouler à l'intérieur des emprises ainsi délimitées.



Photo 1 : Exemple de dispositifs de balisage (source : Internet)

3.2.1.2. Gestion des zones de dépôts

Comme précisé précédemment le stockage des matériaux excavés devra se faire à l'intérieur des emprises chantier, néanmoins des précautions sont à prendre en compte pour limiter leurs impacts sur le milieu naturel.

La zone de dépôt devra se faire à l'extérieur de toutes zones présentant des enjeux écologiques, de zones humides et devra être éloignée des cours d'eau. Toutefois, malgré ces précautions un impact réside quant à l'émission de poussières et de sédiments.

La mise en place d'un dispositif de recouvrement des tas de dépôt associé à la mise en place de boudins de rétention permettra de réduire ces risques d'émission dans le milieu naturel.

Dans le guide « Bonnes pratiques environnementales : Protection des milieux aquatiques en phase chantier » l'Agence Française pour la Biodiversité présente les différents dispositifs existants pour répondre à cette demande en fonction de la durée de présence des dépôts. Si ceux-ci ne sont présents que quelques semaines l'utilisation de films polyéthylène souple est suffisante. A contrario si la présence est plus longue, quelques mois, la maîtrise d'œuvre pourra se tourner vers un ensemencement d'espèces végétales à croissance rapide, recouvert d'un paillage. Dans le cas de la deuxième option, une attention particulière devra être portée aux choix des espèces afin de ne pas apporter des espèces invasives.

3.2.1.3. Devenir des terres excédentaires

Les aménagements réalisés engendreront des mouvements et des excédents de terres. Il est alors important d'être vigilant quant aux modalités de stockage de ces dernières, qu'il soit temporaire ou permanent, afin de ne pas dégrader de zone humide supplémentaire.

Dans le cas présent, les terres excédentaires issues du chantier de création de l'usine de méthanisation devront être stockées exclusivement au sein du périmètre du projet (zone impactée), ou être gérées ex situ (export). Aucun stockage ne pourra être réalisé sur les zones humides non impactées par le projet à proximité. Les modalités décrites dans le chapitre Erreur ! Source d'un renvoi introuvable. devront être respectées.

Dans le cas d'un excédent de terre dans le cadre du chantier, aucun apport de terre extérieur n'est à prévoir.

4. Evaluation de l'impact résiduel du projet sur les zones humides

L'impact résiduel du projet est évalué après mise en œuvre des mesures d'évitement et de réduction décrites précédemment. Il est évalué à la fois sur le plan quantitatif et fonctionnel.

4.1. Sur le plan quantitatif

Les mesures prises durant la phase chantier permettront de s'assurer que seule la zone concernée par le projet sera impactée : les zones humides présentes sur le reste du site étudié ne subiront aucune destruction ou dégradation accidentelle.

Aucune mesure d'évitement n'a pu être mise en œuvre, toutefois il est demandé de limiter les emprises chantier aux emprises strictes du projet après application des mesures d'évitement.



Figure 9 : Zone humide impactée par le projet (bordé en orange)

4.2. Sur le plan fonctionnel

Pour évaluer l'impact résiduel du projet sur les zones humides sur le plan fonctionnel, nous appliquons la méthode nationale d'évaluation des zones humides, élaborée par l'ONEMA (GAYET et al., 2016).

4.2.1. Enjeux sur le territoire où est inséré le site impacté

4.2.1.1. Concernant les fonctions hydrologiques et biogéochimiques

Pour rappel, l'environnement du site est constitué par sa zone contributive, sa zone tampon, son paysage et éventuellement le cours d'eau auquel il est associé. Dans le cas présent, la zone humide impactée par le projet prend place en milieu péri-urbain sur la plaine maritime du delta de l'Aa.

La zone contributive correspond à un sous-bassin du bassin versant du delta de l'Aa. Celui-ci présente une grande proportion de terres cultivées et poldérisées entraînant potentiellement le charriage d'une grande quantité de composés azotés et phosphorés vers la mer (au détriment de la zone humide). On notera également, que la topographie y est majoritairement plane.

Environ 70% du paysage associé à la zone d'étude (zone tampon de 1000 m de rayon) est constitué de zones bâties, sites industriels et autres habitats artificiels. On y retrouve notamment de nombreuses surfaces bitumées, des systèmes de drainage et/ou de collecte des eaux superficielles. Des modifications topographiques locales (talutage, remaniement etc..) sont également observables en grandes quantités. Cette urbanisation du territoire entraîne d'importantes modifications des modalités de circulation des eaux, des flux de nutriments et de sédiments vers la zone humide. On notera la présence, dans une moindre mesure, de prairies et de surfaces agricoles (poldérisées), particulièrement au sud du site.

A noter également, que la présence de zones agricoles au sein de la zone contributive peut être à l'origine d'apports de composés azotés et/ou phosphatés au sein de la zone humide. Cependant, dans le cas présent, il est peu probable que la zone humide soit effectivement alimentée par ces nutriments issus de l'agriculture en amont, en raison de la poldérisation d'une part, et de la topographie relativement plane, de l'autre.

La zone tampon (50 m de rayon autour de la surface impactée), quant à elle, est très majoritairement végétalisée. Elle a donc la capacité de retenir les sédiments, dénitrifier les nitrates et assimiler l'azote végétale et les orthophosphates, au détriment de la zone humide. Cette dernière, quant à elle, comporte un fossé qui permet la récolte et le charriage des eaux issues d'un talus, localisé entre la zone humide et la station de traitement des eaux usées (à l'est). De plus, elle est traversée par le canal Noortgracht. Ce dernier longe la zone humide impactée au nord sur une vingtaine de mètres. Enfin on notera que le site impacté et le canal sont séparés par une surface boisée qui limite potentiellement les échanges en dehors des périodes de fortes crues et/ou d'intempéries.

De fait, l'environnement du site a tendance à limiter les capacités d'accomplissement des fonctions hydrologiques et biogéochimiques de la zone humide. En effet, la poldérisation de la zone (environnement deltaïque anthropisé) favorise potentiellement le drainage des eaux et le charriage des nutriments et des sédiments en direction de la mer.

4.2.1.2. Concernant les fonctions d'accomplissement du cycle biologique des espèces

Le paysage du site impacté est caractérisé par une richesse et une hétérogénéité en habitats accrues comme en témoigne le nombre de grands habitats avec 6 habitats EUNIS de niveau 1 et l'équipartition élevée de ceux-ci ($E=0.61$). Toutefois, malgré une densité en corridors boisés et aquatiques permanents respectivement assez importante et très importante permettant une connectivité accrue entre les habitats, ceci vient être en partie contrebalancé par la densité de grandes et petites infrastructures qui sont très importantes et constituent un effet barrière.

Dans ce contexte, il apparaît que le site impacté avant impact présente une opportunité forte de réaliser les fonctions de support et de connexion des habitats, au regard de son environnement peu artificialisé et peu fragmenté.

4.2.2. Enjeux sur le site impacté

4.2.2.1. Concernant les fonctions hydrologiques et biogéochimiques

Ainsi, en ce qui concerne la fonction hydrologique :

- Ralentissement des ruissellements

Le ralentissement des ruissellements est dirigé par la rugosité du couvert végétal. En effet, la végétation constitue un obstacle aux écoulements. La nature et la densité du couvert végétal influencent ainsi la vitesse des écoulements (Fustec et Lefeuvre, 2000). Par exemple, les arbres sont particulièrement efficaces dans le cas de débits ou de lames d'eau importantes. Les strates inférieures (herbacées et arbustives) offrent également une résistance aux écoulements. Dans le cas présent, le site possède un couvert végétal herbacé relativement dense, localement arbustif, au sud, et un couvert davantage arboré au nord. La rugosité y est donc intermédiaire ce qui favorise l'accomplissement de cette sous-fonction.

D'autre part, l'absence de fossé (excepté en bordure est) et l'absence de rigole sur le site induisent une bonne capacité de la zone à ralentir les ruissellements.

De plus, au regard de la situation géomorphologique de la parcelle (replat topographique), celle-ci favorise la rétention des eaux météoriques et superficielles.

Cependant, compte tenu de la poldérisation et de la topographie (replat côtier) à l'échelle du sous bassin versant, la zone ne semble pas être une zone réceptrice de ruissellements, à l'exception de la route qui la borde au Sud. En ce sens, cette sous-fonction ne représente aucun enjeu au vu de l'environnement alentour.

Ainsi, compte tenu des indicateurs cités ci-dessus, la zone humide impactée présente une capacité modérée à forte à ralentir les ruissellements. Cependant l'opportunité d'exercer cette sous-fonction est faible. Il s'agit donc d'un faible enjeu.

- Recharge des nappes

Premièrement, la rugosité du couvert végétal, la faible densité du réseau de drainage au niveau du site (un fossé moyen en bordure est) et la topographie plane permettent la rétention des eaux météoriques. Dans un second temps, la percolation et l'infiltration de ces eaux dans le sol, pour finalement alimenter la nappe sous-jacente, sont potentiellement favorisées par la texture drainante du sol en profondeur (sableux au-delà de 60 cm de profondeur).

La zone humide impactée semble donc être principalement alimentée par un hydrodynamisme vertical (apports météoriques et battements de nappe), l'intensité de l'alimentation de la nappe semble donc essentiellement tributaire de la pluviométrie.

Ainsi, nous pouvons conclure que la zone humide impactée présente une capacité moyenne à forte à réaliser cette sous-fonction.

- Rétention des sédiments

La rugosité intermédiaire du couvert végétal sur le site permet, lors d'évènements de crue ou de fortes précipitations, d'intercepter les débris charriés par les ruissellements.

Dans ce contexte, la zone étant plane, les ruissellements sont limités au profit de la rétention (et de l'infiltration) des eaux ce qui accroît la sédimentation des particules fines. La rétention des sédiments fins est d'autant plus importante compte tenu de la texture majoritairement argilo-limoneuse du sol entre 0 et 30 cm de profondeur. En effet, une texture fine lutte contre le lessivage des particules fines.

Aussi, la faible présence de fossés et l'absence de rigoles contribuent à cette sous-fonction en évitant le charriage des sédiments via le système hydrologique.

Cependant, à l'échelle du sous bassin versant, la poldérisation entraîne le charriage des sédiments vers la mer et l'absence de relief entrave les flux sédimentaires verticaux.

Ainsi, on peut conclure que cette zone humide présente une capacité modérée à retenir les sédiments mais l'opportunité d'exercer cette sous-fonction étant faible, la rétention des sédiments n'est pas un enjeu important.

En ce qui concerne la fonction biogéochimique :

- Dénitrification des nitrates

Le ralentissement des ruissellements induit par le couvert végétal dense et rugueux favorise la rétention des composés azotés sur un laps de temps plus important. Cela permet donc aux processus biogéochimiques de se réaliser (notamment la dénitrification). La rétention des composés azotés arrivant à la zone humide est également favorisée par la texture fine du sol (en surface) qui réduit les processus de lixiviation des composés azotés. En effet, les sols à texture fine possèdent une activité dénitrifiante plus importante que ceux à texture grossière. Ici, les sols présentent une texture à dominante argileuse sur les 60 premiers cm ce qui accroît de manière significative la dénitrification dans ces horizons et diminue par la même occasion la lixiviation des composés azotés.

A noter également, plus un sol est hydromorphe, plus la dénitrification y est efficace (Clément et al. 2008). En effet, les zones les plus propices à la dénitrification sont celles où les conditions d'anaérobie apparaissent à la fois pendant une durée significative et à de faibles profondeurs. Dans le cas présent, les traits d'hydromorphie apparaissaient aux alentours de 40 cm de profondeur et ils s'intensifient en profondeur.

Cependant, au-delà de 60 cm de profondeur, la texture du sol devient sableuse entraînant une perte des composés azotés via lixiviation et rendant le milieu peu propice à la dénitrification malgré l'hydromorphie bien présente.

De plus, la végétation n'étant pas exportée, l'ensemble des débris végétaux azotés issus du couvert végétal ne quitte pas le site, constituant ainsi une potentielle source d'azote. Néanmoins, compte tenue de la topographie et du réseau hydrographique (polders drainants) local, l'apport en nitrates en provenance des activités agricoles en amont, est potentiellement faible.

Pour conclure, la zone humide impactée semble être très propice et favorable à la dénitrification de l'azote dans les 60 premiers cm du sol, les conditions idéales étant réunies entre 40 et 60 cm de profondeur. Au-delà, elle semble perdre de son pouvoir épurateur.

- Assimilation végétale de l'azote et des orthophosphates

Au même titre que pour la dénitrification, le ralentissement des ruissellements induit par le couvert végétal dense et relativement rugueux, permet de retenir les nitrates et les phosphates, transportés via les ruissellements, et de les mettre au contact de surfaces végétales sur une période plus importante. Cette étape tend alors à augmenter les phénomènes d'assimilation végétale. De plus, la faible densité de drainage sur le site permet d'éviter le charriage de l'azote et des orthophosphates en faveur de l'assimilation végétale. On notera que le pH du sol, compris entre 6 et 7, est propice à cette sous-fonction puisqu'il rend le phosphore disponible pour ces réactions chimiques.

Cependant, étant donné que les systèmes de drainage alentours sont relativement denses, les apports en nitrates et en phosphates se voient potentiellement restreints. De plus, (on rappelle que) la végétation n'étant pas exportée, cette immobilisation de l'azote et des orthophosphates n'est que temporaire (restitution au système lors de la décomposition). De ce fait, cette sous-fonction ne contribue alors que légèrement, à l'épuration des eaux, contrairement à la dénitrification.

Par conséquent, les enjeux liés aux processus d'assimilation végétale de l'azote et des orthophosphates peuvent donc être considérés comme modérés, bien que, les conditions au sein de la zone humide soient relativement favorables à ce processus.

- Adsorption, précipitation du phosphore

Les processus physicochimiques à l'origine de l'adsorption et de la précipitation du phosphore dans une zone humide sont complexes et difficiles à évaluer. Premièrement, cette sous-fonction dépend des apports phosphorés, qui, de la même manière que pour les composés azotés, sont potentiellement faibles au niveau du site impacté.

La faible densité du réseau de drainage ainsi que la rugosité intermédiaire du couvert végétal (qui plus est permanent) sont des indicateurs favorables à la rétention des composés phosphatés. Cependant le pH du sol se situant autour de 6,5, les phénomènes d'adsorption et de précipitation sont fortement inhibés. En effet, pour une valeur de pH comprise entre 6 et 7, la disponibilité du phosphore (et donc sa mobilité) est maximale rendant le phosphore sous une forme non favorable à l'adsorption et à la précipitation.

Les conditions du milieu (particulièrement le pH) ne sont pas favorables à l'accomplissement de cette sous-fonction. Il ne s'agit donc pas d'un enjeu important sur la zone d'étude.

- Séquestration du carbone

Pour rappel, le carbone atmosphérique est fixé par les végétaux afin de synthétiser de la matière organique (organismes autotrophes). L'importance et la pérennité des stocks de carbone dans une zone humide dépendent donc de plusieurs paramètres. Dans le cas du compartiment végétal, le type d'habitats a une influence notable. En effet, selon le type de végétaux, la quantité totale de biomasse aérienne et souterraine et la durée de vie des organes varient. Les forêts se caractérisent par les plus importants stocks de carbone suivis des communautés arbustives et des milieux ouverts (par ex. Bridgham et al. 2006).

Dans le cas du site impacté, environ 60% de la surface est couvert de végétaux herbacés haut (sans export) et 40% de végétations principalement arborescentes. Le couvert végétal est donc très favorable à la séquestration du carbone.

Concernant le compartiment du sol, la présence d'un épisolum humifère de 15 à 20 cm de profondeur assure l'incorporation de la matière organique et donc de matière carbonée. De plus, le sol étant hydromorphe à partir de 40 cm, la dégradation de la matière organique y est inhibée du fait des conditions (temporairement) anoxiques. Cependant, on notera que cet indicateur ne contribue que légèrement à la séquestration du carbone en raison de la profondeur d'apparition des traits d'hydromorphie. En effet la matière organique est concentrée dans les horizons superficiels du sol.

La zone humide est donc relativement favorable à cette sous-fonction, principalement en raison de la présence sur une proportion non négligeable d'un couvert végétal boisé qui plus est, en contexte urbain. Celui-ci étant voué à disparaître en partie en raison du projet, cette sous-fonction est un enjeu relativement important.

Aux vues des analyses ci-dessus, les enjeux liés aux fonctions hydrologiques sur le site concernent principalement la recharge des nappes. En effet, l'absence de réseau de drainage sur le site, la topographie et la texture sableuse (en profondeur) du sol sont très favorables à l'infiltration des eaux météoriques dans la nappe alluviale sous-jacente. En revanche, les sous-fonctions de ralentissement des ruissellements et de rétention des sédiments n'ont que peu d'intérêts compte tenu du contexte local de plaine côtière poldérisée dans lequel le site prend place.

Concernant les fonctions biogéochimiques, la séquestration du carbone et la dénitrification des nitrates semblent être particulièrement efficaces notamment en raison du couvert végétal, localement arboré (forte rugosité et présence d'un horizon de litière pour une partie du site), de l'absence de drainage et de l'hydromorphie du sol.

On notera, qu'au regard de la topographie et de la forte densité de drainage dans l'environnement du site, il est peu probable que cette zone humide soit le siège d'importants flux hydrologiques, sédimentaires et/ou de nutriments (en dehors de l'apport météorique et des potentiels battements de la nappe). De ce fait, l'ensemble des sous-fonctions sont dégradées par l'anthropisation, même si les conditions sur le site sont favorables à l'accomplissement de certaines d'entre elles.

Les fonctions présentant le plus d'enjeux au sein de la zone impactée sont donc :

- Recharge des nappes ;
- Séquestration du carbone ;
- Dénitrification des nitrates.

4.2.2.2. Concernant les fonctions d'accomplissement du cycle biologique des espèces

Le site impacté avant impact présente une capacité modérée à réaliser les fonctions de support et de connexion des habitats pour la faune et la flore.

En effet, malgré une équipartition élevée ($E=0.97$) entre les habitats EUNIS de niveau 1 et 3 et un très faible isolement de ceux-ci (distance moyenne 0.1 km), le site présente une certaine pauvreté en termes de grands habitats avec seulement deux grands

habitats EUNIS de niveau 1 et 3 « E9.7 : Prairies mésiques non gérées » et « G1.C : Plantations forestières très artificielles de feuillus caducifoliés » et peu d'effet lisière qui pourraient accueillir la faune des milieux semi-ouverts.

De plus, les habitats du site sont extrêmement différents de ceux du paysage avec un coefficient de similitude de 0.12, en faisant un site peu favorable à accueillir la faune des alentours et ce malgré le peu de perturbations anthropiques constatées.

4.2.3. Impact envisagé de l'aménagement

Le site considéré pour l'analyse O.N.E.M.A. sera totalement détruit après la réalisation de l'aménagement, et n'assurera alors plus aucune fonction (hydrologique, biogéochimique ou écologique) liée aux zones humides.

5. Mesures compensatoires, d'accompagnement et de suivi

Les mesures compensatoires ont pour objectif d'apporter une contrepartie aux impacts résiduels significatifs du projet qui n'ont pu être évités ou suffisamment réduits. Ces mesures doivent être conçues de manière à présenter un caractère pérenne, et être mises en œuvre en priorité à proximité fonctionnelle du site impacté. Elles doivent permettre de maintenir, voire le cas échéant d'améliorer, la qualité environnementale des milieux naturels concernés à l'échelle territoriale pertinente.

En complément, des **mesures dites « d'accompagnement »** peuvent être définies pour améliorer l'efficacité ou donner des garanties supplémentaires de succès environnemental aux mesures compensatoires.

5.1. Définition des objectifs de compensation

5.1.1. Rappel concernant le SDAGE Artois-Picardie

Le **SDAGE (Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux)** est un document de planification décentralisé qui définit, pour une période de 6 ans, les grandes orientations pour une gestion équilibrée de la ressource en eau.

Le site d'étude s'inscrit dans le territoire du bassin Artois-Picardie, dont le SDAGE a été défini pour la période 2022-2027.

Dans le cadre de la présente mission, nous portons une attention particulière à la **Disposition A-9.5 : « Mettre en œuvre la séquence « éviter, réduire, compenser » sur les dossiers zones humides au sens de la police de l'eau »**. Elle stipule entre autres :

- « 3. Compenser l'impact résiduel de son projet sur les zones humides*. Pour cela le pétitionnaire utilise préférentiellement l'outil d'évaluation national de la fonctionnalité des zones humides mis à disposition par l'Office Français pour la Biodiversité, pour déterminer les impacts résiduels après évitement et réduction et garantir l'équivalence fonctionnelle du projet de compensation. Celui-ci doit correspondre à une restauration* de zones humides équivalentes sur le plan fonctionnel, sans que la surface de compensation ne soit inférieure à la surface de la zone humide détruite, selon un ratio qui respecte les objectifs suivants :

150% minimum, dans le cas où le site de compensation sur lequel le projet doit se réaliser est situé dans la classe « à restaurer/réhabiliter » de la classification établie par le SAGE (cf. disposition A-9.1) ou, si le SAGE n'a pas achevé la classification, dans une liste partielle de zones humides « à restaurer/réhabiliter » ayant recueilli l'avis favorable de la CLE du SAGE ;

200% minimum, dans le cas où le site de compensation sur lequel le projet doit se réaliser est situé sur un SAGE voisin, et est dans la classe « à restaurer/réhabiliter » de la classification établie par ce SAGE voisin (cf. disposition A-9.1) ou, si le SAGE voisin n'a pas achevé la classification, dans une liste partielle de zones humides « à restaurer/réhabiliter » ayant recueilli l'avis favorable de la CLE du SAGE voisin ;

300% minimum, dans tous les autres cas.

Les mesures compensatoires font partie intégrante du projet et précèdent son impact sur les zones humides. Elles doivent se faire prioritairement sur le même territoire de SAGE que la destruction et prioritairement en zone non agricole (c'est-à-dire prioritairement hors des « zones A » des PLU et PLUi). La compensation ne peut se faire que dans le bassin Artois-Picardie.

La pérennité de la gestion et l'entretien de ces zones humides compensatoires doivent être garantis à long terme par le porteur de projet. Il doit apporter une preuve de cette garantie initiale sur ces aspects qui ne peut être inférieure à dix ans. Les modalités en sont précisées par un arrêté préfectoral. ».

5.1.2. Rappel concernant le SAGE du Delta de l'Aa

Les **Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux** (SAGE) sont des documents de planification élaborés de manière collective, dans les sous-bassins, pour un périmètre hydrographique cohérent d'un point de vue physique et socio-économique (bassin versant, nappe d'eau souterraine, zone humide, estuaire...).

Le projet est situé dans le périmètre du SAGE Delta de l'Aa. Ce dernier est en révision.

Ce document présente 4 grands enjeux : eau potable, gestion quantitative, crues et inondations, milieux aquatiques et biodiversité. 5 règles apparaissent également dans le SAGE approuvé :

- **Inondations** - Les installations, ouvrages, travaux ou activités (IOTA) ..., ne peuvent entraîner l'assèchement, la mise en eau, l'imperméabilisation ou le remblai de zone humide ou de marais, etc. ;
- **Inondations** - Le petit chevelu hydrographique en amont de la Hem (Sanghen, Loquin et Planque) sera préservé dans le but de limiter les transferts d'eau vers l'aval ;
- **Eau potable** - Dans l'attente de l'amélioration des connaissances techniques complémentaires, les prélèvements dans la nappe de la craie, conformes aux exigences sanitaires, seront réservés prioritairement à l'alimentation humaine et animale, etc. ;
- **Zones humides** - Des solutions de protection, de gestion et de valorisation des zones humides, ... seront mises en œuvre dans la concertation, etc. ;
- **Qualité de l'eau** - Tous rejets directs en eau marine, même après transit par des bassins, doivent permettre le maintien ou l'amélioration de la qualité des eaux marines, des eaux de baignade, des eaux conchylicoles ou de la vie piscicole.

La Commission Locale de l'Eau s'est réunie le 3 octobre 2024 afin de définir les parcelles considérées comme prioritaires pour des actions de compensation ou de restauration des zones humides. Dans le cadre d'aménagements favorables aux zones humides sur ces parcelles, les ratios de compensation sont abaissés de 3 fois la perte à 1,5 fois la perte.



Figure 10 : Extrait de la liste partielle prioritaire © CLE, 3 octobre 2024

5.1.3. Objectifs qualitatifs

Sur le plan fonctionnel, la mesure compensatoire doit permettre d'obtenir **une équivalence fonctionnelle** du point de vue des différentes fonctions énumérées dans la méthode nationale d'évaluation des fonctions des zones humides (O.N.E.M.A., 2016), sur laquelle nous nous basons :

- Fonction hydrologique ;
- Fonction biogéochimique ;
- Fonction d'accomplissement du cycle biologique des espèces.

Le nouveau SDAGE 2022-2027 fixe désormais les ratios de compensation fonctionnels : toute surface de zones humides impactée (après évitement et réduction) doit être compensée au minimum selon les ratios présentés ci-avant.

Dans le cas présent, le site de compensation se situe au niveau de zones humides « à restaurer / réhabiliter » du SAGE. La zone humide impactée doit donc être compensée selon un **ratio fonctionnel de 150%**.

5.2. Description du site de compensation

Les mesures compensatoires dédiées aux zones humides concernent deux sites à proximité de la zone impactée. Ces sites s'inscrivent dans une stratégie compensatoire plus globale dans le cadre du projet, avec d'autres sites de compensation à proximité. Les sites sont matérialisés sur deux cartes dans la suite du chapitre.

5.2.1. Description générale

Les sites compensatoires se situent sur la commune de Grande-Synthe, à proximité immédiate du site impacté, dans le département du Nord, en région Hauts-de-France. Il s'agit de terrains végétalisés et localement boisés. D'un point de vue topographique, les sites, relativement plats, sont adossés au Nord à un talus routier, pentés d'environ 5% en direction de la zone d'étude. On notera la présence d'un cours d'eau et d'un fossé de drainage, respectivement en limite Sud et Nord de cette zone. De la même manière que pour le site impacté, la zone est bordée par de nombreuses surfaces artificialisées et urbanisées telles que des bâtiments, des industries et des voies de circulations (routières et ferroviaires). On notera, la présence à l'Ouest d'un plan d'eau artificiel ainsi que la dérivation du canal de Bourbourg. A noter également, la zone d'étude se situe à proximité de la Mer du Nord et plus précisément à environ 6 kilomètres à vol d'oiseau au Sud de cette dernière.

☞ La carte en page suivante localise le site de compensation par rapport au site impacté.



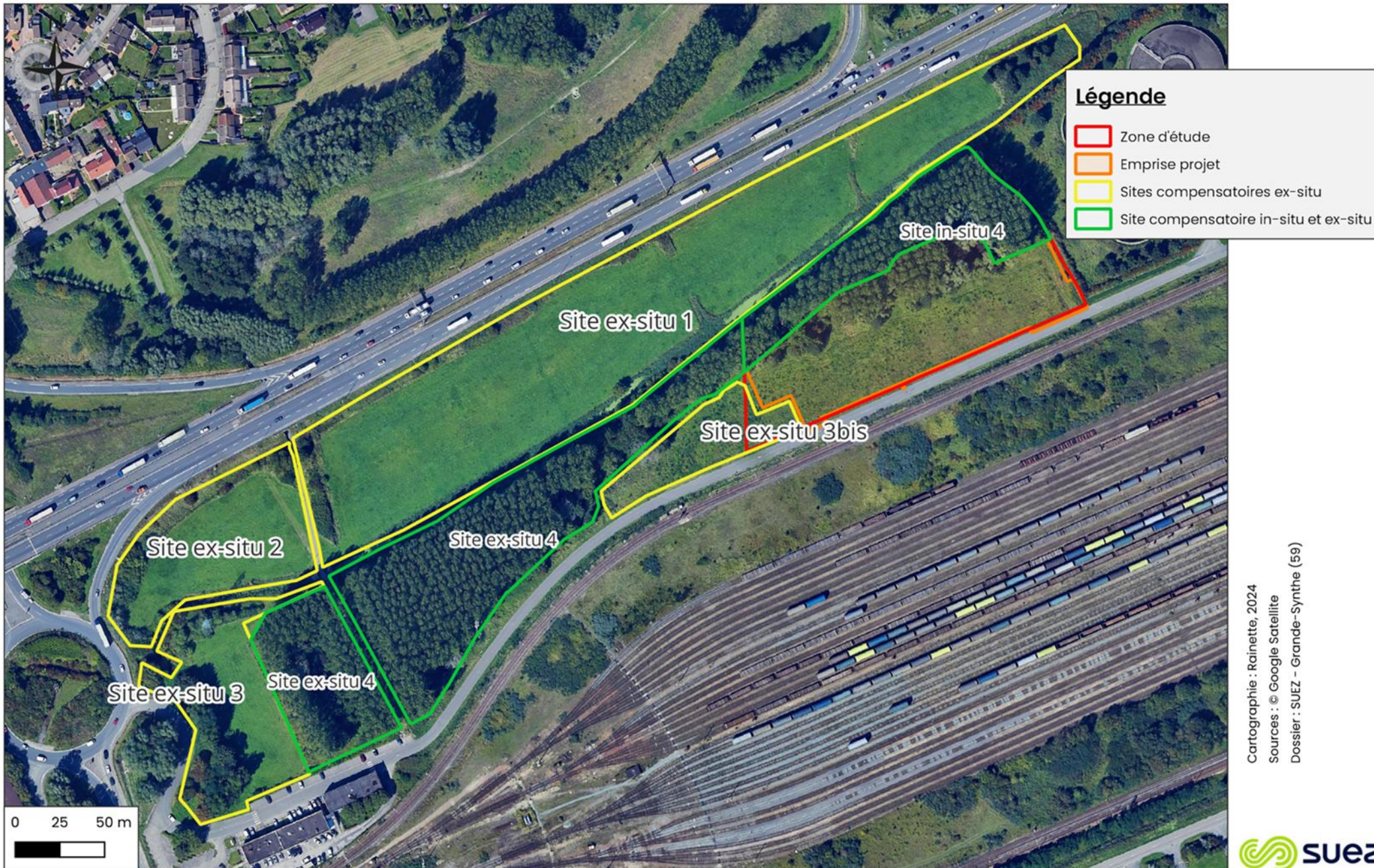
Photos 2 : Vues d'ensemble de la zone d'étude. Photos prises sur site © Rainette 2023

Localisation des sites de compensation retenus dans le cadre de la compensation

"zones humides"



Localisation de l'ensemble des sites de compensation dans le cadre de la construction de l'usine de méthanisation



5.2.2. Habitats présents au sein du site

Avant de dimensionner la compensation, les investigations écologiques ont été menées sur les sites 1, 2 et 3. In fine, seuls les sites 1 et 2 ont été retenus pour les zones humides.

Les friches herbacées et une prairie de fauche mésophile occupent la majorité des surfaces du site de compensation, elles sont dominées par plusieurs graminées hautes comme le Fromental (*Arrhenatherum elatius*), le Dactyle aggloméré (*Dactylis glomerata*) ou encore la Fétuque des prés (*Schoedonorus pratensis*).

Sur ces milieux ouverts, des fourrés et bosquets anthropiques sont implantés et composés d'espèces arbustives indigènes et non indigènes.

Des fossés de drainage et le canal Noord-Gracht Ouest sont peuplés de végétaux mésohygrophiles à hygrophiles tels que le Roseau commun (*Phragmites australis*), la Laïche cuivrée (*Carex otrubae*), la Laïche des rives (*Carex riparia*), l'Épilobe hérissé (*Epilobium hirsutum*), le Lycopode d'Europe (*Lycopus europaeus*), la Roripe amphibie (*Rorippa amphibia*) ou encore la Patience des eaux (*Rumex hydrolapathum*).



Photos 3 : Habitats présents sur la zone compensatoire © Rainette 2023

ESPECES FLORISTIQUES A ENJEUX

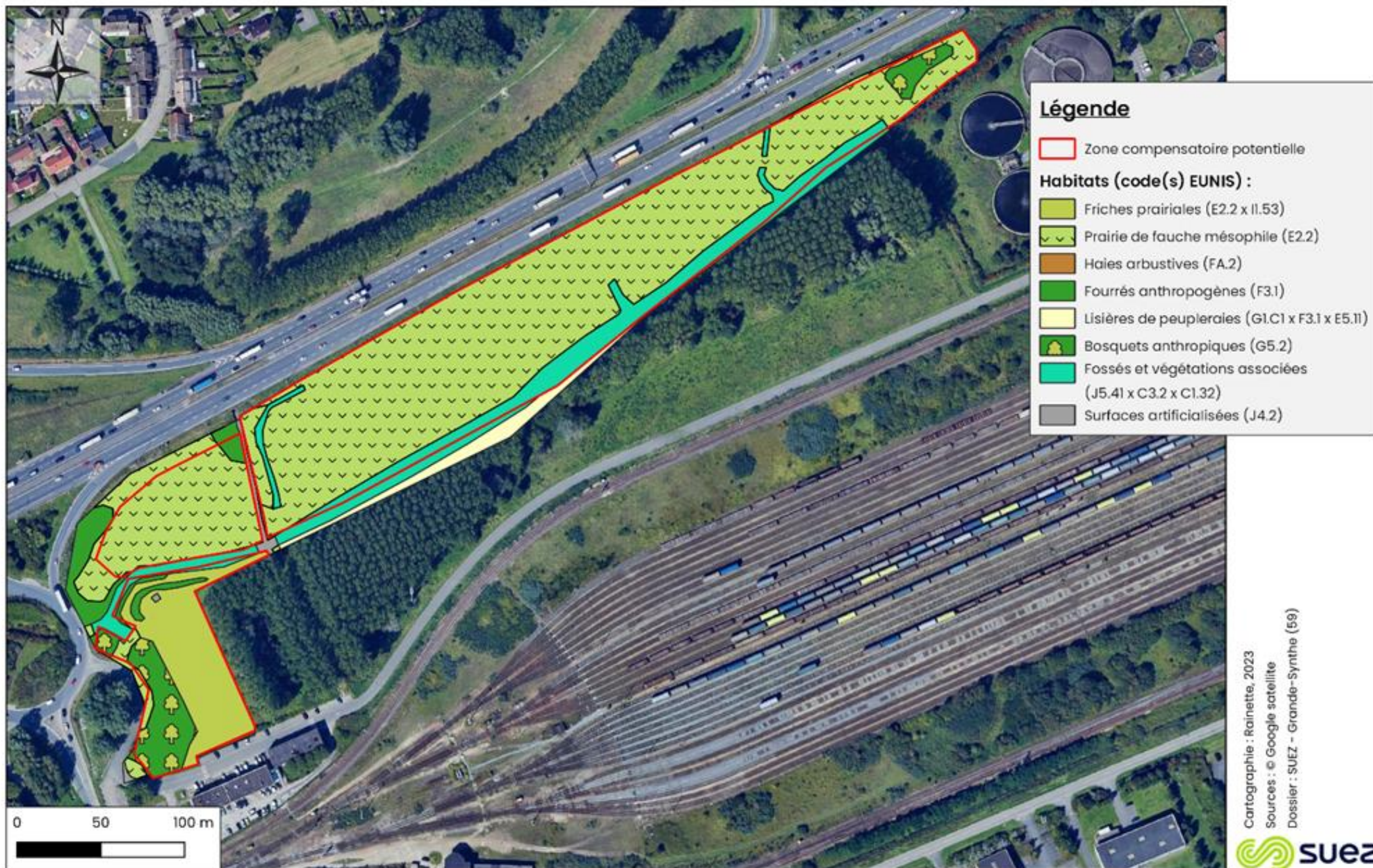
Aucune espèce à enjeu n'a été observée sur la zone compensatoire.

ESPECES EXOTIQUES ENVAHISSANTES

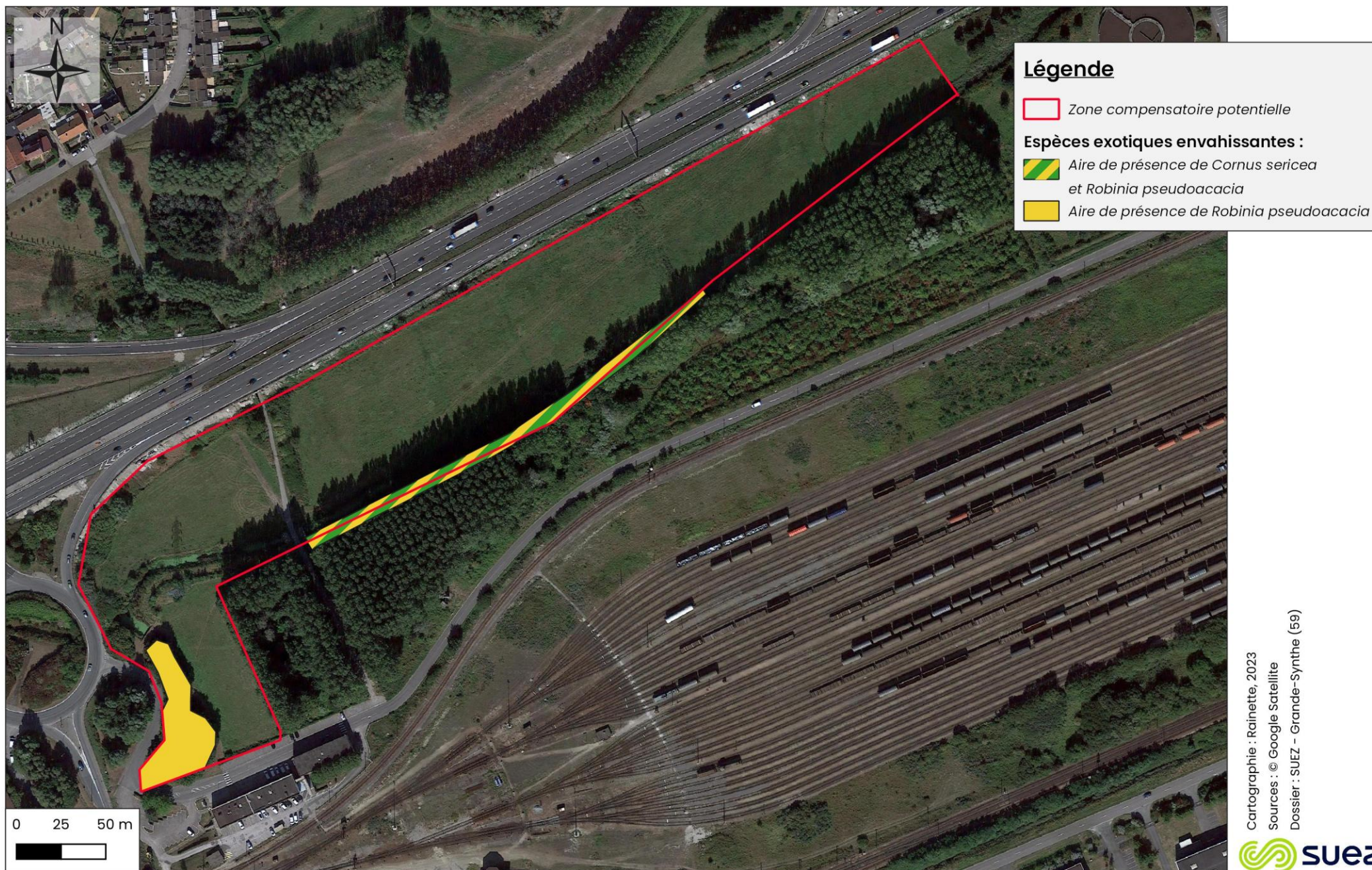
2 espèces exotiques envahissantes sont recensées sur la zone compensatoire : le Cornouiller soyeux (*Cornus sericea*) et le Robinier faux-acacia (*Robinia pseudoacacia*).



Photo 4 : Robinier faux-acacia (*Robinia pseudoacacia*) et Cornouiller soyeux (*Cornus sericea*) © Rainette 2023



Localisation des espèces exotiques envahissantes



5.2.3. Potentialités faunistiques et floristiques du site

Ces éléments proviennent des chapitres correspondants du rapport « *Etude Faune, Flore et Habitats et Délimitation des zones humides – Construction d’une usine de méthanisation – Rainette SAS – Mai 2024* » dont les éléments cités proviennent du compte-rendu de passage annexé au dit rapport.

5.2.3.1. Potentialités floristiques

D’une surface totale de 4.057 ha, le site compensatoire est constitué de plusieurs habitats assez variés avec une grande bande de friches herbacées sur les sites n°1 et 2, séparées du site projet au sud par un cours d’eau, le *Noortgracht Ouest de Grande Synthe*, et sa végétation associée. Des bosquets et fourrés anthropiques sont aussi présents sur ces deux sites.

Le site n°3, est lui dans sa majeure partie constituée d’une friche prairiale, avec un bosquet anthropique la séparant de la route et un patch de fourrés anthropogène sur sa partie Nord. Le cours d’eau précédemment cité constitue sa limite Nord avec le site n°2.

Aucune espèce floristique protégée ou patrimoniale n’a été recensée sur l’ensemble de ces trois sites. En revanche deux espèces exotiques envahissantes ont été détectées dont un patch de Robinier pseudo-acacia sur le site 3 à l’emplacement du bosquet

5.2.3.2. Potentialités faunistiques

Le passage faunistique du 30 mai 2023 n’a révélé que la présence du Lézard des murailles (espèce d’intérêt visée par la compensation) à proximité du site n°3. Toutefois sont considérées en espèces d’intérêt potentielles sur le site de compensation : le Chardonneret élégant, le Coucou gris, le Lézard vivipare, la Bande noire, le Hérisson d’Europe, le Murin à moustache et la Pipistrelle de Nathusius.

La Bureau Local de la Biodiversité a réalisé des inventaires faune-flore complémentaires au printemps 2025, les 5 mars, 24 mars, 15 avril et 12 mai.



Figure 11 : Compléments d’inventaire réalisés par le Bureau Local de la Biodiversité

5.2.4. Délimitation des zones humides

De la même façon, les prospections pédologiques se sont portées sur les 3 sites potentiels de compensation.

5.2.4.1. Selon le critère pédologique

La réalisation de sondages pédologiques est nécessaire afin de vérifier le caractère humide du site. Une campagne de **dix** sondages pédologiques a eu lieu les 20 et 21 février 2023. Ces sondages couvrent l'ensemble de la zone d'étude (voir carte ci-dessous).

DESCRIPTION GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE

Le site compensatoire se situe sur la commune de Grande-Synthe, à proximité immédiate du site impacté, dans le département du Nord, en région Hauts-de-France. Il s'agit de terrains végétalisés et localement boisés. D'un point de vue topographique, le site, relativement plat, est adossé au Nord à un talus routier, penté d'environ 5% en direction de la zone d'étude. On notera la présence d'un cours d'eau et d'un fossé de drainage, respectivement en limite sud et nord de cette zone. De la même manière que pour le site impacté, la zone est bordée par de nombreuses surfaces artificialisées et urbanisées telles que des bâtiments, des industries et des voies de circulations (routières et ferroviaires). On notera, la présence à l'ouest d'un plan d'eau artificiel ainsi que la dérivation du canal de Bourbourg. A noter également, la zone d'étude se situe à proximité de la Mer du Nord et plus précisément à environ 6 kilomètres à vol d'oiseau au sud de cette dernière.



Photos 5 : Vues d'ensemble de la zone d'étude. Photos prises sur site © Rainette 2023

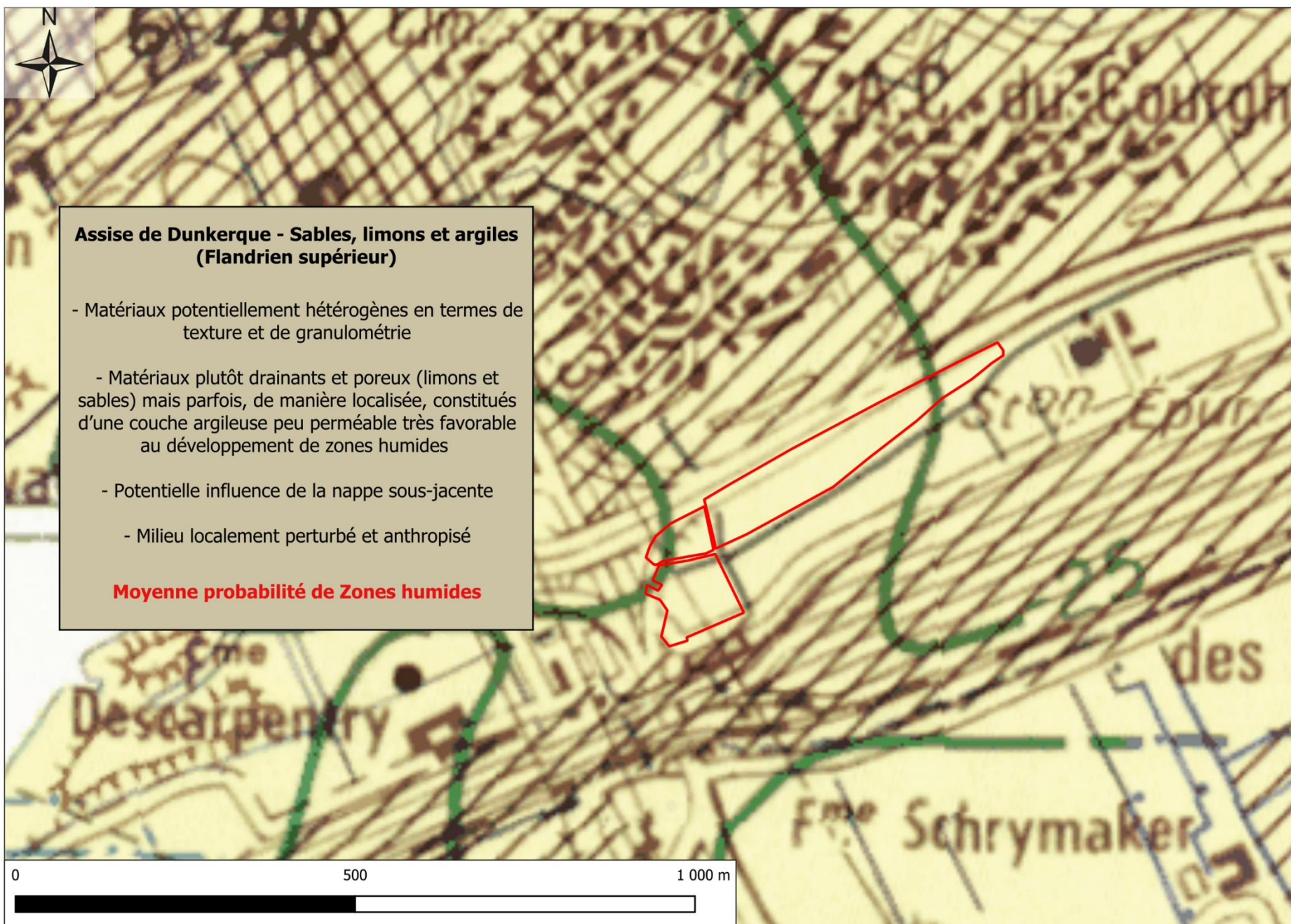
ETAT DES LIEUX PRE-LOCALISATION DES ZONES HUMIDES

Les critères larges de probabilité de présence de zones humides doivent être interprétés comme des critères d'effort de prospection à produire lors de la réalisation des inventaires de terrain par la suite.

Ces critères (forte, faible et moyenne probabilité) sont définis à partir des informations sur la géologie, l'occupation des sols et la topographie principalement. Ils sont précisés par les multiples retours d'expériences de Rainette.

La carte de l'occupation des sols (Corine Land Cover, 2018) n'a pas été prise en compte dans la définition des critères, du fait de la présence majoritaire de « Zones industrielles ou commerciales » et, dans une moindre mesure, de « Tissu urbain discontinu » et de « Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés » sur la totalité du secteur à l'étude.

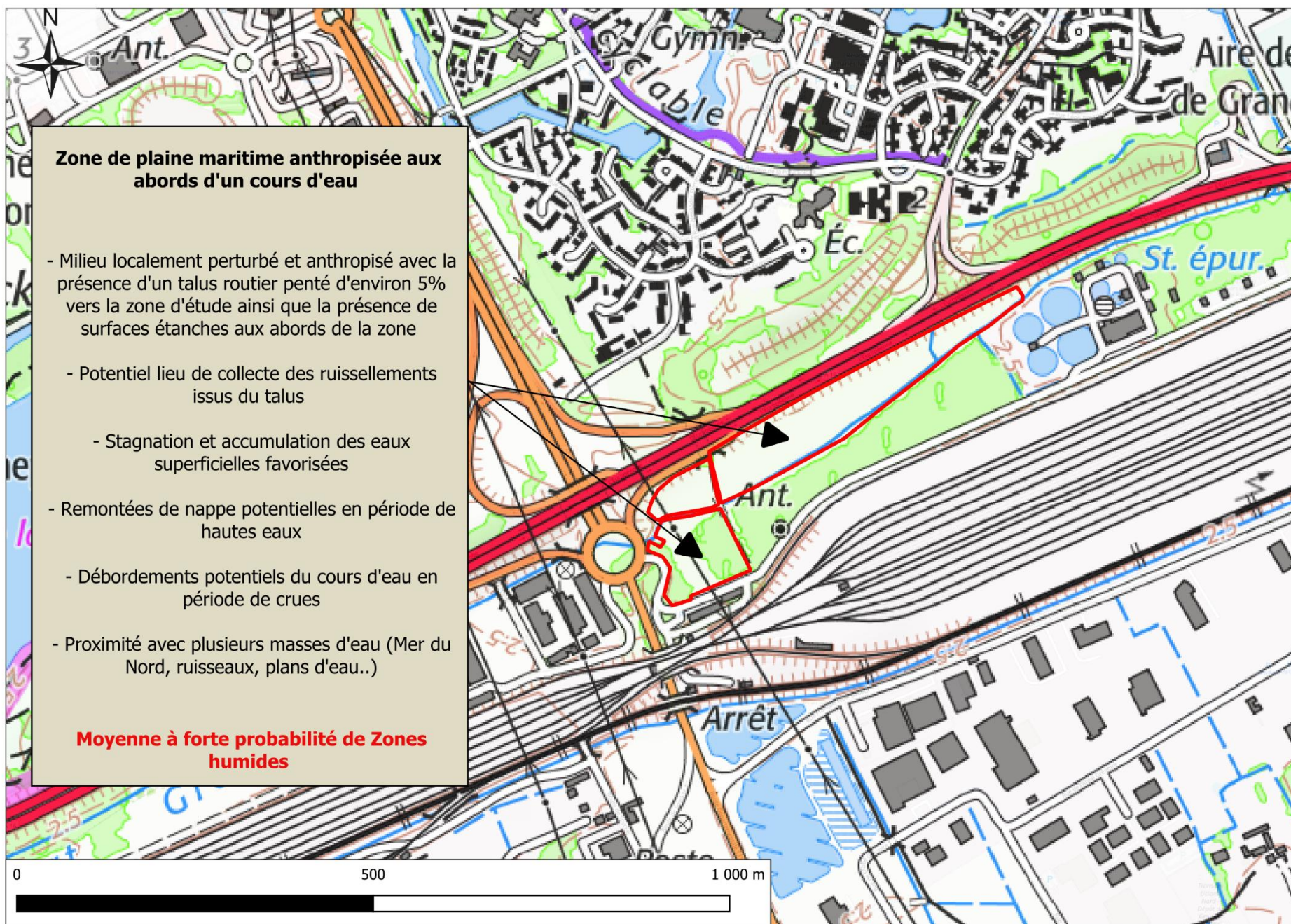
☞ Les critères considérés à partir de l'analyse géologique et topographique sont exposés sur [les cartes ci-dessous](#).



Légende

 Zone d'étude

Cartographie : Rainette, 2023
Sources : © Infoterre BRGM, 2005
Dossier : SUEZ - Grande Synthèse (59)



Zone de plaine maritime anthropisée aux abords d'un cours d'eau

- Milieu localement perturbé et anthropisé avec la présence d'un talus routier penté d'environ 5% vers la zone d'étude ainsi que la présence de surfaces étanches aux abords de la zone
- Potentiel lieu de collecte des ruissellements issus du talus
- Stagnation et accumulation des eaux superficielles favorisées
- Remontées de nappe potentielles en période de hautes eaux
- Débordements potentiels du cours d'eau en période de crues
- Proximité avec plusieurs masses d'eau (Mer du Nord, ruisseaux, plans d'eau..)

Moyenne à forte probabilité de Zones humides

Légende

 Zone d'étude

LOCALISATION DES SONDAGES

Au total, **dix** sondages pédologiques ont été effectués sur toute la zone d'étude.

 La carte ci-dessous localise ces sondages.

De la même manière que pour le site impacté, l'étude bibliographique a permis de considérer des signes évidents de sols alluviaux peu évolués et potentiellement hydromorphes sur l'ensemble de la zone d'étude. La bibliographie indique également que les sols sont constitués de matériaux à matrice texturale très hétérogène, plutôt drainante mais parfois de manière localisée imperméable car très argileuse et donc propice au développement de zones humides fonctionnelles. De plus, d'après les données du Référentiel Régional Pédologique du Nord-Pas-De-Calais, réalisé en 2011 par le GisSol, on peut s'attendre à identifier des sols relativement argileux ("Argile des polders"), fortement hydromorphes, peu épais et développés sur sables.

On notera, que les investigations pédologiques réalisées sur le site impacté, situé à proximité immédiate du site compensatoire, ont révélé la présence de sols humides et profonds issus des dépôts marins probablement poldérisés.

La visite de site n'a quant à elle, pas révélé de manière évidente la présence d'indices témoins de potentielles zones humides fonctionnelles. En revanche, la présence d'un cours d'eau, en limite sud de la zone, peut être considéré comme un potentiel indicateur de zones humides.

Localisation des sondages pédologiques (P)



DESCRIPTION DES SONDAGES

Les données pédologiques recueillies in situ, ponctuelles et surfaciques, sont étudiées puis intégrées dans un logiciel SIG qui les regroupe sous forme d'Unité Cartographique de Sol (UCS) et d'Unité typologique de Sol (UTS). Leur nombre est fonction de la complexité du milieu et de l'échelle utilisée lors de la cartographie.

L'ensemble des informations pédologiques ponctuelles recensées et acquises au cours des prospections, a été mobilisé afin de définir et de délimiter les UCS/UTS le plus précisément possible.

Ces limites correspondent généralement aux limites topographiques, géologiques, pédologiques ou de changement d'occupation du sol. Or, les sols n'ont que très rarement des limites nettes. La transition entre deux entités est toujours plus ou moins floue. Ainsi, lors de l'expertise pédologique, on recherchera une homogénéité dans la répartition des types de sols au sein du secteur étudié.

Dans la présente étude, une seule UTS a été considérée et délimitée. Celle-ci correspond aux sols humides, majoritairement profonds, rédoxiques dès la surface et réductiques de profondeur et prenant place sur les dépôts marins poldérisés de la plaine côtière de la mer du Nord.

À l'issue de l'interprétation de cette UTS, une délimitation probante des zones humides/non humides est réalisée. Elle est représentée sur la carte en fin de chapitre.

Des profils synthétiques sont définis ci-dessous pour l'UTS considérée, regroupant les sondages ayant un profil pédologique relativement similaire. Ces profils permettent de visualiser de manière synthétique, la succession des horizons des sols en place pour chaque unité.

 Les résultats des différents sondages sont présentés dans le tableau [suivant](#).

Pour décrire les horizons rencontrés, les abréviations suivantes sont utilisées :

- **A** : Horizon organo-minéral ;
- **Jp** : Horizon jeune peu évolué et issu d'apports alluviaux ;
- **(g)** : Horizon à traits rédoxiques peu marqués ;
- **g** : Horizon à traits rédoxiques marqués et fonctionnels ;
- **Go** : Horizon réductique partiellement réoxydé.

DESCRIPTION DE L'UTS 1 (SONDAGES P1 A P10)

Cette UTS correspond aux sols humides, rédoxiques en surface, majoritairement profonds et à matrice limono-argileuse en surface et argilo-sableuse en profondeur et à horizons réductiques de profondeur sur dépôts marins et/ou fluvio-marins, désormais endigués. On parle alors de sols potentiellement poldérisés.

Des traits d'hydromorphie fonctionnelle ont donc été observés pour tous les sondages de cette UTS.

Les sols de cette UTS peuvent donc être qualifiés de **THALASSOSOLS – REDOXISOLS à horizons réductiques de profondeur**, d'après le Référentiel Pédologique (AFES, 2008).

Profil synthétique des sondages 1 à 5, 7 et 9 :

- 0 à 25 cm : Horizon A* **non humide**, de couleur brun foncé à noir, à structure grumeleuse et à texture limono-argilo-sableuse dominante ;
- 25 à 45 cm : Horizon Jp* **non humide**, de couleur marron clair à gris, structuré et à texture limono-sablo-limoneuse ;
- 45 à 75 cm : Horizon g* **humide**, de couleur marron clair à gris, bariolé de taches rouilles, structuré, à texture argilo-limono-sableuse et à traits rédoxiques marqués et significatifs ;

- 75 à 120 cm : Horizon Go* **humide**, de couleur gris, structuré, à texture argilo-sableuse et à traits réductiques marqués et significatifs localement réoxydés.



Photo 6 : Profil pédologique d'un THALASSASOL- REDOXISOL pachique, à horizon rédoxique de moyenne profondeur et réductique de profondeur (Sondage P5) – Photo prise sur site, © Rainette, 2023

Profil synthétique du sondage 6 :

- 0 à 25 cm : Horizon A* **non humide**, de couleur brun foncé à noir, à structure grumeleuse et à texture limono-sablo-argileuse ;
- 25 à 70 cm : Horizon g* **humide**, de couleur marron clair à gris, bariolé de taches rouilles, structuré, à texture limono-sablo-argileuse à argilo-limono-sableuse et à traits rédoxiques marqués et significatifs ;
- 70 à 120 cm : Horizon Go* **humide**, de couleur gris, structuré, à texture argilo-sableuse et à traits réductiques marqués et significatifs localement réoxydés.



Photo 7 : Profil pédologique d'un THALASSASOL- REDOXISOL pachique, à horizon rédoxique de surface et réductique de profondeur (Sondage P6) – Photo prise sur site, © Rainette, 2023

Profil synthétique du sondage 8 :

- 0 à 25 cm : Horizon A* **non humide**, de couleur brun foncé à noir, à structure grumeleuse et à texture limono-sablo-argileuse ;
- 25 à 65 cm (refus sur lit caillouteux) : Horizon g-Go* **humide**, de couleur marron clair à gris, bariolé de taches rouilles, structuré, à texture argilo-limono-sableuse et à traits rédoxiques marqués et significatifs et potentiellement réduits et localement réoxydés par endroits.



Photo 8 : Profil pédologique d'un THALASSASOL- REDOXISOL moyennement épais (Sondage P8) - Photo prise sur site, © Rainette, 2023

Profil synthétique du sondage 10 :

- 0 à 30 cm : Horizon A* **non humide**, de couleur brun foncé à noir, à structure grumeleuse et à texture limono-argilo-sableuse dominante ;
- 30 à 45 cm : Horizon Jp(g)* **non humide**, de couleur brun foncé à marron clair, structuré, à texture limono-sablo-limoneuse et à traits rédoxiques peu marqués et non significatifs ;
- 45 à 75 cm : Horizon g* **humide**, de couleur marron clair à gris, bariolé de taches rouilles, structuré, à texture argilo-limono-sableuse et à traits rédoxiques marqués et significatifs ;
- 75 à 120 cm : Horizon Go* **humide**, de couleur gris, structuré, à texture argilo-sableuse et à traits réductiques marqués et significatifs localement réoxydés.

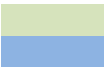


Photo 9 : Profil pédologique d'un THALASSASOL- REDOXISOL pachique à horizon réductique de profondeur (Sondage P10) - Photo prise sur site, © Rainette, 2023

Les résultats des différents sondages sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3 : Classement des sondages selon le critère pédologique et l'arrêté de 2008 modifié en 2009

SONDAGE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Profondeur										
0 à 15 cm	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
15 à 30 cm	/	/	/	/	/	/-g	/	/-g	/	/
30 à 50 cm	/-g	/-g	/-g	/-g	/-g	g	/-g	g	/-g	(g)-g
50 à 70 cm	g	g	g	g	G	g	g	g-Go-AC	g	g
70 à 95 cm	g-Go	Go	g-Go	g-Go	g-Go	Go	Go		Go	Go
95 à 120 cm	Go	Go	Go	Go	Go	Go	Go		Go	Go
Nappe (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Anthroposol	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
ZH Pédo	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Classe GEPPA	VI c1	VI c1	VI c1	VI c1	VI c1	VI c1	VI c1	VI c1	VI c1	VI c1



Non humide
Humide

/ : absence de traits d'hydromorphie ; **O** : oui - **N** : non

(g) : traits rédoxiques très peu marqués, non déterminant pour la caractérisation de zones humides

g : traits rédoxiques marqués, avec plus de 5 % de taches d'oxydation et de réduction ;
et/ou l'observation de la végétation

Anthroposol : sol qui a été remanié et/ou compacté par l'activité humaine.

AC : arrêt sur lit de cailloux,

AR : arrêt sur roche

AV : arrêt volontaire (retrait de tarière difficile et trop intrusif ; sols tassés ; arrivée d'eau importante)

AE : arrêt enracinement important

Ant : Refus précoce lié à l'anthropisation

g - esm : traits rédoxiques fonctionnels (+ eaux stagnantes météoriques pendant les prospections)

g-nf : traits rédoxiques non fonctionnels en surface (hydromorphie fossile etc.)

Carte des Unités Typologiques de Sols (UTS)



Localisation des zones humides / zones non humides



Cartographie : Rainette, 2024
Sources : © Google Satellite
Dossier : SUEZ - Grande-Synthe (59)

CONCLUSION SELON LE CRITERE PEDOLOGIQUE

Ainsi, conformément à l'arrêté du 1er octobre 2009, modifiant l'arrêté du 24 juin 2008, on peut conclure que l'ensemble du site compensatoire a été définie comme humide.

5.2.4.2. Selon le critère floristique

Au vu des résultats du critère pédologique, la totalité de la surface de la zone de compensatoire est considérée comme humide, la délimitation des zones humides par le critère floristique n'a pas été effectué pour cette étude.

5.2.4.3. Conclusion

Au vu des résultats du critère pédologique seul ce critère a été appliqué sur la zone d'étude.

Celui-ci a mis en évidence la présence de zones humides sur l'ensemble du site (1, 2 et 3) compensatoire.

Suite aux résultats obtenus, il a été décidé de se concentrer sur le site n°1 en priorité dans le cadre de la compensation zones humides au regard de la superficie disponible et de sa proximité avec la zone humide impactée. Le site n°2 a également été associé à la compensation, afin d'optimiser les gains fonctionnels possibles.

5.2.5. Enjeux du site compensatoire

5.2.5.1. Méthode

L'évaluation des fonctions dans la zone humide est réalisée à l'aide de la méthode nationale des fonctions des zones humides (GAYET et al., 2016).

L'état initial du site de compensation (avant action écologique) a été réalisé d'avril à août 2021, le 19/10/2021 et le 08/12/2021 sur le terrain et de mai à octobre 2022 au bureau. L'état simulé du site de compensation avec action écologique est fixé en 2037, soit 15 ans après que l'action écologique ait été mise en œuvre. Ce délai s'explique par le temps nécessaire pour rétablir le fonctionnement hydraulique et biochimique du sol.

A noter que ce délai de 15 ans n'exclut pas un retour plus périodique afin d'évaluer l'évolution des caractéristiques de la zone humide (pédologiques et végétales) et d'en adapter les pratiques au besoin (Cf. Suivis en fin de chapitre).

5.2.5.2. Enjeux à l'échelle du territoire

Les sites de compensation et le site impacté sont en partie limitrophes. Le site compensatoire n°1 est situé au nord du site impacté et ne sont séparés que par un cours d'eau. Il se situe ainsi dans le même contexte que la zone impactée, et par conséquent au sein de la même zone contributive.

Pour rappel, la zone contributive est un sous-bassin du bassin versant du delta de l'Aa. Celui-ci présente une grande proportion de terres cultivées et poldérisées entraînant potentiellement le charriage d'une grande proportion de nutriments et de sédiments (au détriment de la zone humide). La topographie y est, cela dit, majoritairement plane.

Environ 70% du paysage associé à la zone d'étude (zone tampon de 1000 m de rayon) est occupé de zones bâties, sites industriels et autres habitats artificiels. On y retrouve notamment de nombreuses surfaces bitumées, des systèmes de drainage et/ou de collecte des eaux superficielles ou encore des modifications topographiques locales (talutage, remaniement, etc.). Cette urbanisation du territoire entraîne d'importantes modifications des modalités de circulation des eaux et des flux de nutriments et de sédiments vers la zone humide. On notera la présence, dans une moindre mesure, de prairies et de surfaces agricoles (poldérisées), particulièrement au sud du site. La présence de zones agricoles au sein de la zone contributive peut être à l'origine d'apports de composés azotés et/ou phosphatés au sein de la zone humide.

En revanche, les enjeux sur la zone tampon (de 50 m de rayon) du site compensatoire diffèrent de ceux du site impacté. Au nord, le site compensatoire est bordé d'un fossé de drainage puis d'un talus routier penté d'environ 8 % vers le site compensatoire. Au-delà du talus, on retrouve l'autoroute A16 (surfaces étanches dévégétalisées). De fait, les eaux superficielles de la route sont entraînées, par ruissellements et via le talus, dans le fossé. Le reste de la zone tampon est constitué de surfaces végétalisées, partiellement boisées, entraînant la rétention des sédiments, la dénitrification des nitrates et l'assimilation végétale de l'azote et des orthophosphates au détriment de la zone humide. On y retrouve quelques fossés moyens visant à drainer les eaux issues de talus. Du fait de la densité du réseau de drainage dans la zone tampon, les fonctions hydrologiques du site compensatoire sont amoindries.

Dans le cas du site compensatoire, le canal Noortgracht se situe directement en bordure sud du site. Celui-ci est végétalisé et constitue donc une barrière physique vis-à-vis des sédiments et des ruissellements.

De fait, l'environnement du site limite les capacités de la zone humide à assurer les fonctions hydrologiques et biogéochimiques. En effet, la poldérisation de la zone favorise, d'une part, un important drainage de l'environnement, typique des environnements deltaïques anthropisés, et d'autre part le charriage des flux en sédiments et en nutriments vers la mer. De plus, la forte densité de drainage dans la zone tampon confère une faible capacité à assurer l'ensemble des fonctions hydrologiques.

Du point de vue des fonctions d'accomplissement du cycle biologique des espèces, le territoire présente des potentialités faibles avec un seul grand habitat EUNIS de niveau 1 et 3 et une très forte différence avec ceux du paysage (Coefficient de similarité = 0.07).

5.2.5.3. Enjeux à l'échelle du site

CONCERNANT LES FONCTIONS HYDROLOGIQUES ET BIOGEOCHIMIQUES

Ainsi, en ce qui concerne la fonction hydrologique :

- Ralentissement des ruissellements

La zone humide est bordée au nord par un fossé de drainage des eaux, issues du réseau routier, et qui rejoint le canal de Noortgracht. A noter que, ces deux systèmes de drainage sont joints, au sein de la zone humide, par deux rigoles. La forte densité du réseau de drainage, d'une part, et la faible rugosité du couvert végétal (absence de couvert végétal arboré), d'autre part, induisent une très faible capacité de la zone à ralentir les ruissellements.

Cependant, au regard de la présence d'un talus (évacuant les ruissellements issus du réseau routier en amont), la fonction de ralentissement des ruissellements représente un enjeu local.

- Recharge des nappes

Contrairement au site impacté (pourtant très proche), le site compensatoire présente une conductivité hydraulique en profondeur relativement plus faible en raison de la proportion majoritaire d'argiles. Ces dernières favorisent la rétention des eaux superficielles au détriment des infiltrations et donc de la recharge de la nappe sous-jacente (ou du moins la cinétique).

De plus, le réseau de drainage étant relativement dense, on peut conclure que le site compensatoire présente une très faible capacité à assurer cette sous-fonction.

- Rétention des sédiments

La présence d'un cours d'eau aux berges végétalisées en limite du site permet la rétention des sédiments, notamment en cas de crues. Cependant, compte tenu du contexte poldérisé de l'environnement du site, les phénomènes de crues semblent rares et peu significatifs et la charge sédimentaire du canal est probablement faible (moins de 4,5 km de long).

En revanche, compte tenu de la densité de rigoles dans le site, de fossés aux alentours, de la rugosité moyenne du couvert végétal et de l'absence d'épisolum humifère, cette sous-fonction se voit grandement amoindrie.

Par conséquent, en raison de la présence de fossés, de rigoles et d'un canal aux berges végétalisées, d'un couvert végétal permanent, et d'une texture moyennement favorable on attribuera une capacité faible à modérée à cette zone humide de retenir les sédiments.

En ce qui concerne la fonction biogéochimique :

- Dénitrification des nitrates

Premièrement, plus un sol est hydromorphe, plus la dénitrification est efficace (Clément et al. 2008). Ici, les traits d'hydromorphie apparaissent assez profondément, aux alentours de 45 cm de profondeur, et s'intensifient en profondeur. Cet indicateur est donc modérément favorable compte tenu de la profondeur d'apparition des traits d'hydromorphie mais celui-ci étant couplé à une texture relativement argileuse (argilo-sableuse), on peut supposer une bonne capacité à dénitrifier les nitrates en profondeur (sous réserve d'apports suffisant). En effet, il est admis que les sols à texture fine sont plus propices à la dénitrification potentielle puisqu'ils hébergent une activité dénitrifiante plus importante que ceux à texture grossière.

A contrario, en surface les sols présentent une texture limono-sableuse à limono-argileuse et ne sont donc pas favorables. Cela dit, cette texture (relativement drainante) peut permettre la lixiviation des composés azotés vers les horizons plus profonds où la dénitrification semble davantage favorable.

Cependant, de nombreux indicateurs défavorables à la rétention des nitrates tels que la forte densité du réseau de drainage (fossés et rigoles) et la rugosité moyenne du couvert végétal (herbacées hautes sans export de biomasse). Cela dit, la végétation n'étant pas exportée, l'ensemble des débris végétaux azotés issus du couvert végétal ne quitte pas le système, constituant donc une source d'azote non négligeable.

Par conséquent, le site compensatoire présente une capacité modérée à dénitrifier les nitrates bien que les conditions du sol soient pourtant idéales au-delà de 40 cm de profondeur.

- Assimilation végétale de l'azote et des orthophosphates

La présence d'un couvert végétal permanent, herbacé et haut contribue de manière positive à l'assimilation végétale. De plus, le pH étant compris entre 6 et 7, il est favorable à l'assimilation des phosphates. Cependant, la végétation n'étant pas exportée, cette immobilisation de l'azote et des orthophosphates n'est que temporaire (restitution au système lors de la décomposition). De ce fait, cette sous-fonction ne contribue alors que légèrement, à l'épuration des eaux, contrairement à la dénitrification.

De plus, la faible rugosité de l'habitat herbacé ainsi que la présence de fossés (moyens) et de rigoles tendent à diminuer la capacité du site à assimiler de manière végétale l'azote et les orthophosphates.

Ainsi, aux vues des indicateurs décrits ci-dessus, on attribuera une capacité faible au site compensatoire à exercer ces sous-fonctions.

- Adsorption, précipitation du phosphore

La présence d'un couvert végétal permanent de basse hauteur, l'absence de fossés (profonds) et de ravinement, contribuent à cette sous-fonction.

Néanmoins, la rugosité relative du couvert végétal (majoritairement herbacé) couplé à la présence de fossés (moyens) et de rigoles tend au contraire à la diminuer. De plus, le pH du sol se situant autour de 6,5, les phénomènes d'adsorption et de précipitation sont fortement inhibés. En effet, pour une valeur de pH comprise entre 6 et 7, la disponibilité du phosphore (et donc sa mobilité) est maximale rendant le phosphore sous une forme non favorable à l'adsorption et à la précipitation.

Le site présente donc une capacité faible à exercer cette sous-fonction.

- Séquestration du carbone

Le site compensatoire ne présente ni de couvert végétal arboré ni de tourbe enfouie. En ce sens, la capacité de séquestration du carbone dans le site semble faible.

Cependant, le sol est hydromorphe à partir de 45 cm, la dégradation de la matière organique y est donc inhibée du fait des conditions (temporairement) anoxiques. En revanche, on notera que cet indicateur ne contribue (en théorie) que légèrement à la séquestration du carbone en raison de la profondeur d'apparition des traits d'hydromorphie. En effet la matière organique est concentrée dans les horizons superficiels du sol.

On notera tout de même la présence d'un épisolum relativement épais d'une trentaine de cm sous la prairie. En effet, la prairie constitue des habitats intéressants pour la séquestration de carbone via la photosynthèse d'une part et de l'incorporation de matière organique dans le sol d'autre part.

Ainsi, aux vues des indicateurs décrits ci-dessus, on attribuera une capacité modérée au site compensatoire à exercer ces sous-fonctions.

Aux vues de l'analyse ci-dessus, **les enjeux liés aux fonctions hydrologiques semblent faibles**. Cela est principalement dû à la forte densité du réseau de drainage et à la faible rugosité du couvert végétal.

Concernant les **enjeux liés aux fonctions biogéochimiques**, les sous-fonctions **d'assimilation végétale des nitrates et des phosphates et d'adsorption/précipitation du phosphore semblent peu efficaces et peu significatifs**. En revanche, les sous-fonctions de **dénitrification des nitrates et de séquestration du carbone y sont, dans une moindre mesure, davantage propices**.

De la même manière que pour le site impacté, l'ensemble des sous-fonctions sont dégradées par l'anthropisation, même si les conditions sur le site sont favorables à l'accomplissement de certaines d'entre elles.

Les fonctions présentant le plus d'enjeux au sein du site compensatoire sont donc :

- Dénitrification des nitrates ;
- Séquestration du carbone.

CONCERNANT LES FONCTIONS D'ACCOMPLISSEMENT DU CYCLE BIOLOGIQUE DES ESPECES

Bien que la compensation se fasse ex-situ, le site compensatoire est en contact direct avec le site impacté ainsi les enjeux à l'échelle du site de compensation sont les mêmes que ceux présentés dans le **chapitre 4.2.2** pour le site impacté.

5.3. Description des actions écologiques envisagées

5.3.1. Définition des objectifs de compensation propres au site ciblé

Les actions écologiques proposées dans le cadre des mesures compensatoires doivent être définies en prenant en compte différents facteurs, en particulier :

- Les enjeux identifiés sur le territoire dans lequel s'inscrivent le site impacté et le site de compensation ;
- Les fonctions à restaurer sur le site de compensation au regard de celles affectées sur le site impacté ;
- Les causes de dégradation des fonctions liées aux zones humides sur le site de compensation.

La prise en compte de ces différents facteurs permet d'aboutir à des objectifs de compensation propres au site retenu, et cohérents avec les enjeux identifiés aux différentes échelles (celles des sites considérés et du territoire dans lequel ils s'insèrent).

Dans le cas présent, le site de compensation avant action écologique présente une capacité faible capacité à assurer les hydrologiques et une capacité modérée à assurer certaines sous-fonctions biogéochimiques.

Dans ce contexte, les actions écologiques devront viser prioritairement à :

- **Obtenir un meilleur engorgement du sol.** Cette action doit permettre d'améliorer les fonctions suivantes :
 - Dénitrification des nitrates ;
 - Séquestration du carbone ;
 - Rétention des sédiments (dans une moindre mesure) ;
 - Accomplissement du cycle biologique des espèces.
- **Limiter de drainage in-situ de la zone humide.** Cette action doit permettre d'améliorer les fonctions suivantes :
 - Recharge des nappes
 - Dénitrification des nitrates ;
 - Rétention des sédiments ;
 - Assimilation végétale des nitrates et des phosphates ;
 - Ralentissement des ruissellements ;
 - Assimilation végétale des phosphates et des nitrates ;
 - Adsorption et précipitation du phosphore.

- **Diversifier les habitats et intégrer un habitat arboré (induisant la création d'un épisolum humifère)**. Ces actions doivent permettre d'améliorer les fonctions suivantes :
 - Séquestration du carbone ;
 - Rétention des sédiments ;
 - Dénitrification des nitrates ;
 - Assimilation végétale des nitrates et des phosphates ;
 - Support des habitats ;
 - Connexion des habitats.

Ainsi **les actions écologiques envisagées** sont les suivantes :

- Etrépage de l'ensemble de la parcelle compensatoire sur une épaisseur d'environ 40 cm ;
- Comblement des rigoles et d'une grande partie des fossés moyens sur le site et dans sa zone tampon ;
- Création d'une prairie humide (1,70 ha) ;
- Création d'un boisement humide de type Saulaie riveraine (0,47 ha) ;
- Création d'une ripisylve (0,81 ha) ;
- Création d'une mégaphorbiaie (0,32 ha) ;
- Création de mares.

Ces actions sont détaillées dans la suite du rapport.

 La carte en fin de chapitre localise les habitats naturels projetés au niveau de la parcelle de compensation (N+15).

5.3.2. Description des actions écologiques envisagées (fiches actions)

Mesure C1.1	Etrépage
Espèces et habitats concernés	- Dénitrification des nitrates ; - Séquestration du carbone ; - Rétention des sédiments (dans une moindre mesure).
Localisation	

Objectifs :

- Obtenir une hydromorphie des sols plus intense et plus proche de la surface du sol
- Obtenir une texture plus imperméable de l’horizon superficiel
- Atterrir les rigoles et certains des fossés moyens présents sur le site
- Accentuer l’effet cuvette du site favorisant la rétention des eaux superficielles

Cette mesure concerne l’ensemble du site compensatoire ex situ n°1 ainsi que le site n°2, qui seront étrépés sur environ 3,65 ha sur une profondeur de 40 cm.

 La carte ci-après localise la mesure d’étrépage sur le site.

Localisation de la mesure C1.1 sur les sites compensatoires



Mise en œuvre

L'étrépage consiste à supprimer la végétation en place ainsi qu'une épaisseur plus ou moins importante de l'horizon superficiel. Il permet de rapprocher à la surface du sol le niveau d'engorgement du sol.

L'épaisseur supprimée sera donc fonction de la profondeur d'apparition des traces d'engorgement.

L'étrépage réalisé, l'hydromorphie du sol sera plus marquée et permettra :

- L'expression d'une végétation adaptée à ces conditions,
- Une dénitrification de l'azote par la création d'un milieu anoxique à faible profondeur,
- La séquestration du carbone par une plus faible minéralisation de la matière organique.

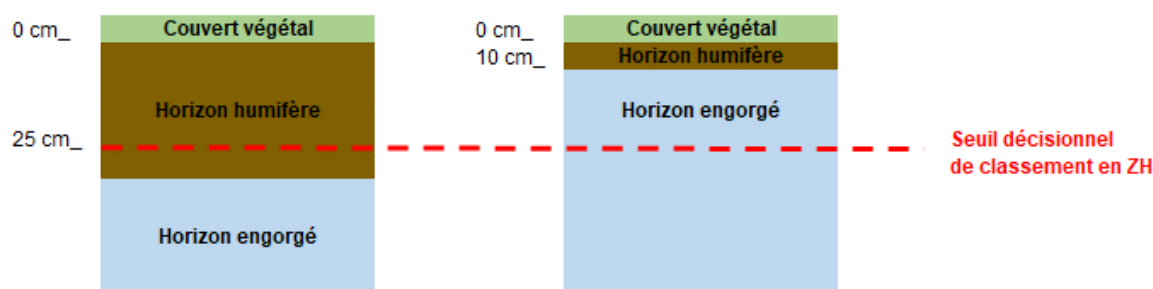


Figure 12 : Schéma de l'étrépage sur les horizons du sol

MODE OPERATOIRE

Dans le cas présent, l'action se déroulera comme suit :

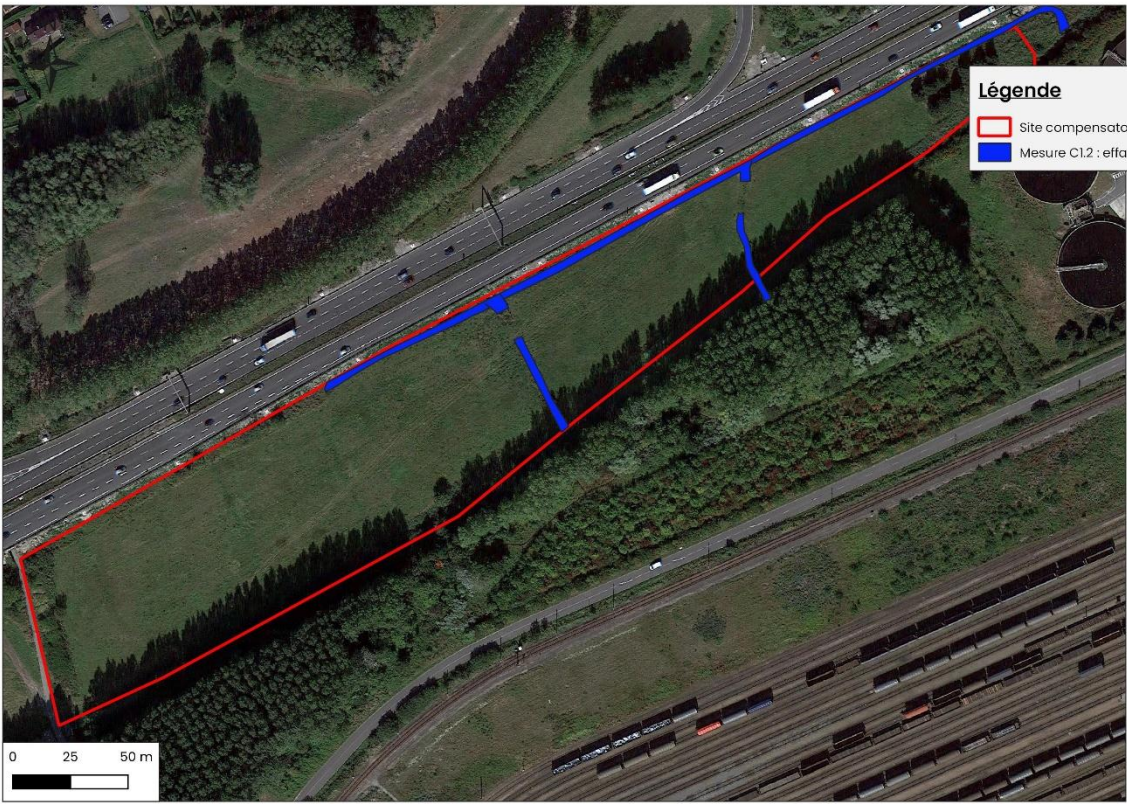
- Délimitation de la zone à décapier/étréper à l'aide de jalons ;
- Elimination du couvert végétal ;
- Etrépage des zones qui s'effectue en deux étapes : extraction grossière de la couche superficielle sur 10 cm (à stocker) puis extraction plus fine du sol sur 40 cm de profondeur, en suivant le profil type préalablement tracé. L'étrépage peut se faire manuellement ou mécaniquement (utilisation de mini-pelles ou de pelles mécaniques adaptées) toutefois étant donné la surface assez importante concernée par l'opération, un étrépage mécanique semble davantage adapté. Le modelé du fond décapé sera légèrement irrégulier de façon à favoriser l'installation d'une diversité de formations végétales ;
- Il est indispensable de veiller à **ne pas déstructurer les horizons du sol et à ne pas provoquer de tassement** : éviter le sur-piétinement, ne pas utiliser d'engins trop lourds et insuffisamment porteurs ;
- **Régalage des 10 premiers centimètres** extraits, mis en stockage, sur l'ensemble de la zone ;
- **Ramassage et exportation des matériaux décapés**. L'évacuation des terres se fera à partir d'un point d'accès préalablement identifié pour limiter la déstructuration des sols (orniérage, tassement des sols dû au passage des engins...). Le stockage des terres issues du décapage devra se faire en-dehors de zones humides ou présentant des enjeux écologiques. Les zones retenues pour le stockage devront donc être identifiées et validées préalablement à l'enlèvement de ces matériaux. **Une partie des terres excavées seront utilisées pour l'effacement de drainage.**

COUT ESTIMATIF

Pour l'étrépage d'une surface de 1 000 m², nous estimons de manière large, les coûts à 3 000 € (ce prix ne comporte pas le coût lié à l'exportation des terres ni la création des mares). La surface à étréper étant d'environ 3,65 ha, le coût de l'étrépage est donc estimé à plus ou moins **109 500 €**.

Période d'intervention

Les travaux d'étrépage devront se réaliser en-dehors des périodes d'engorgement du sol. En effet, un terrassement réalisé en mauvaise condition de portance va engendrer un tassement du sol en profondeur, pénalisant à la fois sa capacité de rétention mais aussi la vie du sol et par voie de conséquence, les fonctions biogéochimiques. Aussi, l'intervention sera réalisée courant automne-hiver, afin de s'inscrire également hors des périodes de reproduction de la faune.

Mesure C1.2	Effacement de drainage
Espèces et habitats concernés	• Dénitrification des nitrates ; • Adsorption et précipitation du phosphore ; • Assimilation végétale de l'azote ; • Assimilation végétale des orthophosphates ; • Stockage du carbone ; • Recharge des nappes ; • Rétention des sédiments et ralentissement des ruissellements (dans une moindre mesure).
Localisation	
Objectif : Obtenir une hydromorphie des sols plus intense et plus proche de la surface du sol. Cette mesure concerne les fossés situés dans le site compensatoire ex situ n°1.  <u>La carte ci-après</u> localise les fossés concernés.	
Localisation de la mesure C1.2 sur le site compensatoire ex-situ  Légende Site compensatoire n°1 Mesure C1.2 : effacement de drainage Cartographie : Rainette, 2023 Sources : © Google satellite Dossier : Suez - Grande-Synthe (59) 	
Mise en œuvre	

Le drainage peut être défini comme l'ensemble des travaux d'aménagements hydro-agricoles réalisés sur un site ou sur une parcelle pour supprimer ou réduire les excès d'eau. Ces aménagements reposent :

- Soit sur des fossés à ciel ouvert, creusés plus ou moins profondément : ce type d'aménagement s'observe au sein de zones humides telles que landes, tourbières, etc. ainsi qu'au sein de prairies ;
- Soit sur des réseaux de drains agricoles enterrés : ce type d'aménagement, coûteux et requérant une certaine technicité, est associé à une intensification des pratiques agricoles. Aussi, il est observé sur prairies et sur labours en zone humide.

La restauration d'un site drainé par des fossés repose sur le comblement des fossés. En effet, pour supprimer totalement l'effet drainant d'un fossé, la seule méthode consiste à le combler intégralement avec des matériaux présentant une faible perméabilité.

Ce comblement s'effectue d'amont en aval.

Pour les fossés en eau, l'effacement de drainage est à réaliser après la mise en place de batardeau et de pompage des excès d'eau, au moyen d'une pompe hydraulique dans la mesure du possible, de façon à assécher le tronçon à combler.

Avant les travaux, des rondins doivent être mis en place à l'extrémité des fossés afin de retenir la terre et éviter l'érosion de la terre nouvelle déposée.

Les fossés étant végétalisés, la végétation doit être supprimée :

- Par coupe des éventuels arbres et arbustes ;
- Puis par fauchage des éventuels roseaux et autres plantes herbacées.

Ces végétaux doivent être exportés.

Les matériaux nécessaires pour combler les fossés seront directement issus du site, suite à l'étrépage de la couche de surface (30 cm) sur l'ensemble du site.

Les matériaux introduits dans les fossés de drainage, tronçon par tronçon, doivent être tassés correctement.

Les engins utilisés devront être munis de pneus basse pression ou de chenilles, et d'une pelle mécanique. Les opérations de nettoyage et de maintenances devront impérativement être réalisés en dehors du site compensatoire.

Période d'intervention

Le comblement des fossés devra être réalisé en-dehors des périodes d'engorgement du sol, tout comme les étrépages (sauf instruction du dossier rapide, mais toujours hors des périodes de sensibilité). L'intervention sera donc réalisée **en fin d'été (août-septembre)**, afin de s'inscrire également après les périodes de reproduction de la faune.

Mesure C1.3	Création d'une prairie humide
Espèces et habitats concernés	• Rétention des sédiments ; • Dénitrification des nitrates ; • Assimilation végétale de l'azote et des orthophosphates ; • Séquestration du carbone ; • Contribution à la diminution de la pollution vers le milieu naturel par l'absence d'apport de fertilisants et produits phytopharmaceutiques ; • Support et connexion des habitats.

Localisation

Objectif :

- Maintenir un couvert végétal permanent au sein du site de compensation ;
- Accroître les fonctionnalités de la zone humide déjà existante.

Cette mesure concerne une partie du site compensatoire ex situ n°2 qui sera restaurée en prairie humide suite à l'étrépage, ainsi qu'une grande partie du site compensatoire n°1 (environ 1,70 ha au total).

 La carte en fin de chapitre localise la prairie humide recréée sur le site.

Localisation de la mesure C1.3 sur les sites compensatoires



Mise en œuvre

De manière générale, il est recommandé de privilégier la recolonisation naturelle afin de s'assurer que la végétation en place soit bien adaptée aux conditions naturelles du milieu. Toutefois, dans certains contextes (habitats remaniés, présence d'espèces exotiques envahissantes...), la réalisation d'un semis peut permettre de répondre au double objectif de couverture rapide du milieu et de stabilisation du substrat.

Dans le cas présent, un **semis en faible densité** sera réalisé, pour laisser place au développement de la flore spontanée.

Une attention particulière devra être portée à la composition du semis. En effet, ce dernier devra être exempt d'espèces protégées ou patrimoniales, être de provenance régionale (origine locale certifiée, par exemple avec la marque *Végétal Local*), et être constitué d'espèces indigènes adaptées aux conditions naturelles du milieu.

Les espèces utilisées ne devront pas être des espèces à croissance rapide et à forte concurrence avec la flore spontanée. Le semis sera préférentiellement constitué d'un faible nombre d'espèces.

Le choix des espèces pour la réalisation du semis respectera la liste type d'espèces herbacées recommandées pour la végétalisation des terrains humides ci-dessous (d'après le CBNBI, 2011).

Tableau 4 : Liste des essences préconisées pour la création de prairies humides (d'après le CBNBI, 2011)

Prairie humide			
Monocotylédones			
<i>Agrostis stolonifera</i> L.	Agrostide stolonifère	S (L, NLP)	X
<i>Arrhenatherum elatius</i> (L.) Beauv. ex J. et C. Presl subsp. <i>elatius</i>	Fromental élevé	S (L, NLP)	X
<i>Holcus lanatus</i> L.	Houque laineuse	S (L, NLP)	X
<i>Lolium perenne</i> L.	Ivraie vivace [Ray-grass commun]	S (L, NLP)	X
<i>Lolium multiflorum</i> Lam.	Ivraie multiflore [Ray-grass d'Italie]	C	X
<i>Poa trivialis</i> L.	Pâturin commun	S (L, NLP)	X
<i>Carex hirta</i> L.	Laiche hérissée	S (L)	p
<i>Dactylis glomerata</i> L.	Dactyle aggloméré	S (L, NLP)	p
<i>Lolium x boucheanum</i> Kunth	Ivraie de Bouché	C	p
<i>Phleum pratense</i> L.	Fléole des prés	S (L, NLP)	p
<i>Carex flacca</i> Schreb.	Laiche glauque	S (L)	p (B)
Dicotylédones			
<i>Cardamine pratensis</i> L. subsp. <i>pratensis</i>	Cardamine des prés [Cresson des prés]	S (L)	X
<i>Eupatorium cannabinum</i> L.	Eupatoire chanvrine	S (L)	X
<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim.	Filipendule ulmaire [Reine-des-prés]	S (L)	X
<i>Lychnis flos-cuculi</i> L.	Lychnade fleur-de-coucou [Fleur de coucou]	S (L)	X
<i>Lysimachia vulgaris</i> L.	Lysimaque commune [Herbe aux corneilles]	S (L)	X
<i>Lythrum salicaria</i> L.	Salicaire commune	S (L)	X
<i>Mentha aquatica</i> L. subsp. <i>aquatica</i>	Menthe aquatique	S (L)	X
<i>Potentilla reptans</i> L.	Potentille rampante [Quintefeuille]	S (L)	X
<i>Prunella vulgaris</i> L.	Brunelle commune	S (L)	X
<i>Ranunculus repens</i> L.	Renoncule rampante [Pied-de-poule]	S (L)	X
<i>Symphytum officinale</i> L.	Consoude officinale	S (L)	X
<i>Angelica sylvestris</i> L.	Angélique sauvage	S (L)	p
<i>Cirsium oleraceum</i> (L.) Scop.	Cirse maraîcher	S (L)	p
<i>Epilobium hirsutum</i> L.	Épilobe hérissé	S (L)	p
<i>Lycopus europaeus</i> L.	Lycophe d'Europe [Pied-de-loup]	S (L)	p
<i>Potentilla anserina</i> L.	Potentille des oies [Ansérine ; Argentine]	S (L)	p
<i>Pulicaria dysenterica</i> (L.) Bernh.	Pulicaire dysentérique	S (L)	p
Dicotylédones légumineuses			
<i>Trifolium repens</i> L.	Trèfle rampant [Trèfle blanc]	S (L)	X

Légende du tableau :

Provenance des espèces

S, L) : taxon d'origine sauvage (souche locale)

S (L, N, P) : taxon d'origine sauvage (souche locale, souche non locale possible)

Mode d'emploi des espèces

X : taxon entrant dans la composition de base du mélange

P : autre taxon possible pour le mélange

(B) : taxon à réserver pour les milieux basiques

GESTION DE LA PRAIRIE HUMIDE

Un unique fauchage annuel avec exportation permet aux espèces végétales d'accomplir leur cycle biologique. Ce mode de gestion extensif permet l'installation d'une flore moins banale. L'exportation des produits de fauche évite quant à elle un enrichissement du sol, limitant ainsi l'installation de taxons nitrophiles. Cette augmentation de la diversité floristique se répercute sur la diversité faunistique en attirant bon nombre de représentants de la faune auxiliaire, notamment les insectes pollinisateurs tels que les lépidoptères et les hyménoptères, mais également d'autres groupes tels que les orthoptères.

Le mode opératoire reste simple, économique et rapide. En permettant la montée en graines et le respect des périodes de sensibilités liées aux cycles de vie de la faune, **un seul fauchage annuel estival (après le 15 juillet)**, avec exportation de la matière, est bénéfique à la conservation des milieux prairiaux. Par conséquent, **l'utilisation de gyrobroyeurs sera exclue**, celle-ci rendant difficile le ramassage de la matière végétale.

Cette fauche doit être réalisée **du centre vers la périphérie des zones fauchées** (fauche centrifuge) pour permettre la fuite de la faune présente. En effet, ce mode opératoire permet d'éviter au maximum la destruction de la faune présente dans la zone à faucher, celle-ci pouvant fuir vers d'autres zones à proximité.

Autres préconisations

L'absence de fertilisation chimique et d'épandage d'herbicides est une condition importante pour le maintien (et l'installation) d'une diversité floristique intéressante. **L'utilisation d'intrant sera proscrite** (apports chimiques ou organiques et autres produits phytosanitaires).

Enfin, la gestion des prairies se complète par une **clause de maintien des prairies (non-retournement)**, de **sur-semis et de plantations**.

Ces mesures seront détaillées dans un plan de gestion, et pourront être adaptées en fonction de l'évolution de la végétation observée dans le cadre des suivis écologiques.

Par ailleurs, cet habitat constitue une **zone réceptrice pour les stations d'Orchis incarnat impactées**, qui y seront transplantées. Les modalités de déplacement des individus sont présentées en mesures d'accompagnement.

COUT ESTIMATIF

Le semi est non évaluable dans l'immédiat.

Pour la fauche, le coût estimé varie entre 500 et 1500 € HT /ha pour une faucheuse à section, un ramassage avec bac autochargeur et export des produits de coupe. Avec une moyenne d'environ 3 tonnes de matière sèche à l'hectare et un coût de l'incinération d'environ 200 €/tonne, nous estimons que le coût de l'incinération à 600 € HT par ha.

Le cout d'un fauchage unique est donc estimé entre 440 et 840 € par an.

Période d'intervention

Le semis sur le site compensatoire sera effectué dans la continuité des actions écologiques précédentes (terrassements), **en automne**, afin de protéger le site durant la période froide et de limiter le développement d'espèces rudérales non désirées dès le printemps.

La gestion de la prairie par fauche exportatrice tardive sera réalisée **en fin d'été, après le 15 juillet**.

Mesure C1.4	Création d'un boisement humide de type Saulaie riveraine
Espèces et habitats concernés	• Ralentissement des ruissellements ; • Rétention des sédiments ; • Dénitrification des nitrates ; • Assimilation végétale de l'azote et des orthophosphates ; • Séquestration du carbone ; • Contribution à la diminution de la pollution vers le milieu naturel par l'absence d'apport de fertilisants et produits phytopharmaceutiques ; • Support et connexion des habitats.
Localisation	

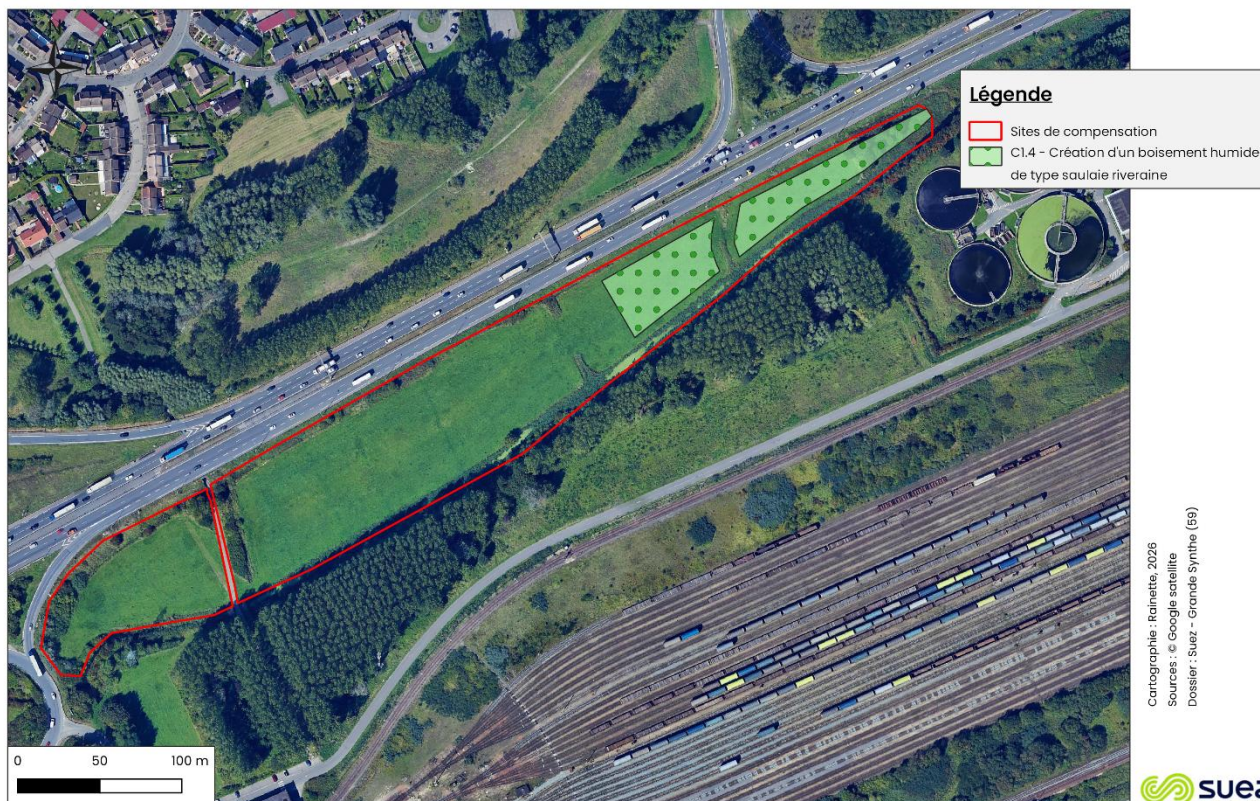
Objectifs :

- Renforcer le corridor arboré ;
- Diminuer la proportion de strate herbacée en favorisant la strate arborée et en augmentant ainsi la rugosité du couvert végétal.

Un boisement humide d'environ 0,47 ha (discontinu) sera créé au nord-est du site compensatoire ex situ n°1 et au sud-est du site n°2, le long du cours d'eau préexistant, et dans la continuité des boisements adjacents.

 La carte en fin de chapitre localise la Saulaie riveraine créée sur le site.

Localisation de la mesure C1.4 sur les sites compensatoires



Mise en œuvre

Des **plantations** seront effectuées à la suite des actions de terrassement précédentes (cf. Mesure C1.1).

Les plants utilisés seront **indigènes** afin de restaurer une naturalité optimale, adaptés aux conditions du milieu récepteur, et d'origine locale. Il est impératif de ne pas introduire d'écotypes, de cultivars ou d'hybrides.

Concernant la strate herbacée, la colonisation spontanée sera privilégiée.

Il conviendra de varier les distances de plantation, de varier l'âge et la taille des individus à introduire, et de s'assurer du bon état sanitaire des plants. Des protections pourront être mises en place.

La liste des essences à utiliser pour les plantations est présentée ci-après. La strate arborée devra être dominée par le Saule blanc (*Salix alba*).

Tableau 5 : Liste des essences préconisées pour la création d'un boisement humide (d'après de CBNBI, 2011)

	Taxon	Nom français
Arbres	<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.	Aulne glutineux
	<i>Betula pubescens</i> Ehrh. subsp. <i>pubescens</i>	Bouleau pubescent
	<i>Populus tremula</i> L.	Peuplier tremble [Tremble]
	<i>Salix alba</i> L.	Saule blanc
	<i>Salix viminalis</i> L.	Saule des vanniers [Osier blanc]
Arbustes	<i>Cornus sanguinea</i> L.	Cornouiller sanguin
	<i>Ribes rubrum</i> L.	Groseiller rouge [Groseiller à grappes]
	<i>Ribes uva-crispa</i> L.	Groseiller épineux [Groseiller à maquereaux]
	<i>Salix atrocinerea</i> Brot.	Saule roux
	<i>Salix cinerea</i> L.	Saule cendré

GESTION DU BOISEMENT HUMIDE

La **Saulaie riveraine sera préservée de toute intervention sylvicole**, afin de garantir sa fonctionnalité (CATTEAU, DUHAMEL et al., 2010). Néanmoins, des actions ponctuelles de gestion devront être réalisées et seront inscrites au plan de gestion (cf. mesures d'accompagnement) :

- **Favoriser le traitement en futaie irrégulière** (traitement conduisant à la diversité des âges, des tailles et des espèces), tout en conservant quelques zones en taillis-sous-futaie car, sur le plan faunistique, ces peuplements sont différents.
- **Favoriser la régénération naturelle et le mélange des essences** en conservant les arbres d'accompagnement, de même que la strate arbustive.
- **Préserver et restaurer les lisières externes diversifiées**. Ces lisières participent en effet à la protection de ces forêts. De plus, les lisières externes jouent un rôle majeur en tant que corridor biologique périforestier et comme zone tampon vis-à-vis d'éventuelles pollutions.

En outre, seront proscrit :

- Les coupes à blanc ;
- L'utilisation d'éventuels produits chimiques (désherbants...).

Les lisières constituent un écotone important pour le fonctionnement des boisements, présentant de nombreuses fonctions. Leur absence est à la fois défavorable à la biodiversité (aussi bien pour la flore que pour la faune) mais aussi à la santé de la forêt vis-à-vis des agressions extérieures. C'est pourquoi il est important de les conserver, et à défaut de les créer et de les gérer par des entretiens réguliers.

Une lisière dite « idéale » est constituée :

- D'un ourlet herbacé (ici humide : mégaphorbiaie, cf. action C1.5) ;
- D'une zone arbustive buissonnante ;
- Et d'une zone arborée.

La figure suivante présente la « lisière idéale ».

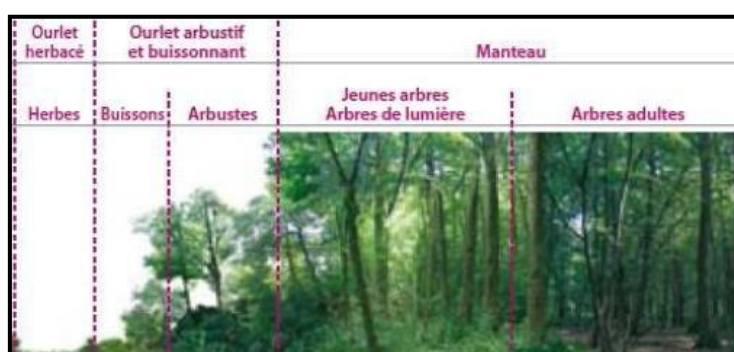


Figure 13 : Schéma représentant une lisière idéale, © CG Val de Marne

La gestion d'une lisière repose donc sur la gestion de trois parties étagées : l'ourlet herbacé, la strate buissonnante/arbustive et la strate arborée. Mais il convient surtout de favoriser le développement des strates buissonnantes et herbacées. Ce sont des stades préforestiers qui disparaissent en l'absence de gestion, du fait d'une dynamique spontanée vers la forêt.

Traitement de la strate haute

D'une manière générale, la strate arborée sera laissée en libre évolution. Toutefois, **des coupes très ponctuelles pourront être réalisées afin de favoriser une diversité supérieure** (en lisière notamment).

Traitement de la strate intermédiaire

Le but est de conserver une structure hétérogène de la strate en rajeunissant les arbustes et buissons de façon à conserver un bon éclaircissement. Il s'agit donc d'opérations d'élagage et de coupes d'éclaircie des arbres avant qu'ils n'atteignent une hauteur trop importante. Les lisières feront l'objet de tailles sur plusieurs années, à adapter en fonction de la dynamique observée (entre 5 et 10 ans en général).

Les interventions doivent se dérouler **en hiver et en automne**, afin de respecter les sensibilités des espèces liées à leur cycle de vie.

Traitement de l'ourlet herbacé

L'objectif est de maintenir une végétation de mégaphorbiaie en lisière de la Saulaie. Cette mesure est reprise dans l'action C1.5, ci-après.

Gestion du bois mort

Les vieux arbres ou les arbres morts sont des indicateurs d'un écosystème forestier en bonne santé, et leur présence est indispensable pour la sauvegarde de la biodiversité. Les vieux arbres et les arbres morts ne sont pas seulement bénéfiques à la diversité des espèces. Le bois mort constitue également une source de nourriture pour de nombreuses espèces forestières, influant ainsi de façon directe sur la survie de groupes spécialisés comme les champignons et les invertébrés saproxylophages. La quantité et la qualité (essence, niveau de composition) du bois mort sont indispensables pour le maintien de ces populations, mais aussi des détritivores qui se nourrissent de matière organique évoluée (champignons, insectes, bactéries...), c'est-à-dire soit du bois mort très évolué soit des fonds de cavités.

Enfin, le bois mort est aussi une source de micro-habitats variés pour une large biodiversité, en premier lieu pour les abris formés par l'accumulation de bois au sol et les cavités aériennes. En effet, ces micro-habitats sont indispensables pour abriter des espèces aussi variées que les rongeurs, les bryophytes ou encore les chiroptères ; ils sont aussi indispensables à la reproduction de nombreuses espèces d'oiseaux et d'insectes.

Il est donc intéressant de conserver des arbres morts sur pied au niveau de ce boisement.

Si les arbres morts sont jugés gênants ou dangereux, ils peuvent être coupés mais non broyés, ni déchiquetés. Le bois sera transporté à l'intérieur du couvert arboré, afin qu'en se décomposant il serve d'habitat aux espèces saproxyliques, et ne soit pas trop exposé au dessèchement. Il doit donc être laissé sur le site.

Période d'intervention

Les plantations devront être réalisées **à partir de novembre, en hiver**.

Les opérations de gestion au niveau des strates herbacées et arbustives des lisières seront réalisées respectivement **en automne** (tous les 3 à 5 ans) et **en automne/hiver** (tous les 5 à 10 ans), afin de respecter les cycles de vie de la faune.

Mesure C1.5	Création d'une ripisylve – d'un boisement riverain
Espèces et habitats concernés	• Ralentissement des ruissellements ; • Rétention des sédiments ; • Dénitrification des nitrates ; • Assimilation végétale de l'azote et des orthophosphates ; • Séquestration du carbone ; • Contribution à la diminution de la pollution vers le milieu naturel par l'absence d'apport de fertilisants et produits phytopharmaceutiques ; • Support et connexion des habitats.
Localisation	
Objectifs : • Renforcer le corridor arboré ; • Diminuer la proportion de strate herbacée en favorisant la strate arborée et en augmentant ainsi la rugosité du couvert végétal. Un boisement positionné en partie en ripisylve sera créé au sud-ouest du site compensatoire ex situ n°1, le long du cours d'eau préexistant (pour environ 0,81 ha).  <u>La carte en fin de chapitre</u> localise la ripisylve créée sur le site.	
 rainette Localisation de la mesure C1.5 sur le site compensatoire ex-situ n°1  Légende Sites de compensation C1.5 - Création d'une ripisylve Cartographie : Rainette, 2026 Sources : © Google satellite Dossier : Suez - Grande Synthèse (59) 	
Mise en œuvre	

Comme pour le boisement humide restauré à l'est du site, **des plantations** seront effectuées à la suite des actions de terrassement (étrépage, etc.).

Les plants utilisés seront **indigènes** afin de restaurer une naturalité optimale, adaptés aux conditions du milieu récepteur, et d'origine locale. Il est impératif de ne pas introduire d'écotypes, de cultivars ou d'hybrides.

Concernant la strate herbacée, la **colonisation spontanée** sera privilégiée.

Il conviendra de varier les distances de plantation, de varier l'âge et la taille des individus à introduire, et de s'assurer du bon état sanitaire des plants. Des protections pourront être mises en place.

La liste des essences à utiliser pour les plantations est similaire à celle pour la recréation du boisement humide (cf. Mesure C1.4).

Période d'intervention

Les plantations devront être réalisées **à partir de novembre, en hiver**.

Les opérations de gestion au niveau des strates herbacées et arbustives seront réalisées respectivement **en automne** tous les 3 à 5 ans (cf. Création de mégaphorbiaies, mesure C1.6), et **en automne/hiver** (tous les 5 à 10 ans), afin de respecter les cycles de vie de la faune.

Mesure C1.6	Création de mégaphorbiaies
Espèces et habitats concernés	• Ralentissement des ruissellements ; • Rétention des sédiments ; • Séquestration du carbone ; • Support et connexion des habitats.
Localisation	
Objectifs : • Renforcer les habitats humides ; • Renforcer les strates végétales du site et accroître l'épaisseur de l'épisolum humifère. Un linéaire de 0,32 ha de mégaphorbiaie sera créé sur le site compensatoire ex situ n°1, en lisière forestière et en bordure de la ripisylve, à proximité du cours d'eau situé au sud.  La carte en fin de chapitre localise les mégaphorbiaies créées sur le site.	
Localisation de la mesure C1.6 sur le site compensatoire ex-situ 1   Légende Sites de compensation C1.6 - Création de mégaphorbiaies Cartographie : Rainette, 2026 Sources : © Google satellite Dossier : Suez - Grande Synthèse (59) 	
Mise en œuvre	
Compte-tenu de la présence d'un cours d'eau à proximité du site compensatoire et de l'absence d'espèce exotique envahissante, la colonisation spontanée pourra être privilégiée pour la création des mégaphorbiaies (ourlets). Cela permettra l'implantation d'espèces adaptées au contexte local, à partir des populations présentes à proximité.	

GESTION DES MEGAPHORBIAIES

L'objectif est de maintenir une végétation de mégaphorbiaie/ourlet hygrophile en périphérie des boisements humides et des ripisylves. Pour cela, une **fauche automnale avec exportation** des produits de coupe sera réalisée **tous les 3 à 5 ans**, sur une bande d'au moins 3 m. Il est important d'effectuer ces opérations sur des zones ponctuelles peu étendues, et d'agir par **rotation** (quelques secteurs chaque année), afin de préserver des zones refuges, notamment pour la petite faune.

Période d'intervention

Les opérations de gestion au niveau des mégaphorbiaies seront réalisées **en automne** (tous les 3 à 5 ans), afin de respecter les cycles de vie de la faune.

Mesure C1.7	Création de mares
Espèces et habitats concernés	Support et connexion des habitats.

Localisation

Objectif :

- Accroître l'intérêt écologique de la zone compensatoire.

La mesure sera réalisée au sein du site de compensation ex situ n°2. Deux mares seront créées au sein de la prairie humide et en lisière de la saulaie riveraine.

 [La carte en fin de chapitre](#) localise les mares sur le site compensatoire.

Localisation de la mesure C1.7 sur le site compensatoire ex-situ 2



Mise en œuvre

La création de mares sur le site n°2 sera notamment favorable aux amphibiens, à l'entomofaune, ou encore **aux chiroptères**.

La restauration du site compensatoire impliquera un étrépage (cf. mesure C1.1 ci-avant). La création de mares permettra de diversifier les milieux humides restaurés et leurs fonctions pour la faune et la flore.

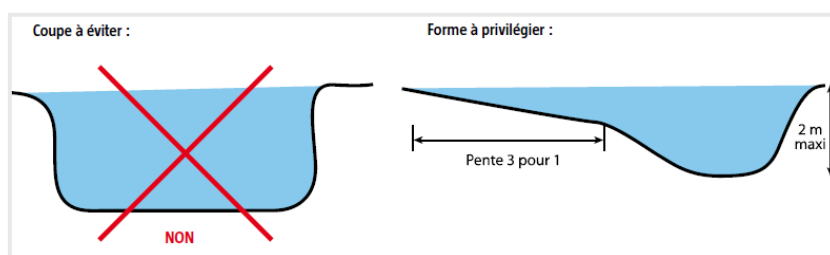
La taille, le faciès, les niveaux d'eau, sont autant d'éléments qui favorisent la biodiversité d'une mare. Dans le cas présent, la création de deux mares respectant les prescriptions suivantes est prévue :

- Superficie comprise **entre 20 et 40 m²**,

- Berges profilées en **pente douce** (5 à 15%),
- **Zones de faibles profondeurs** sur le pourtour (<10 cm) et **zones plus profondes** au centre (1 à 1,5 m maximum).

La diversité de formes est à rechercher afin de diversifier les micro-habitats et les expositions (**contours irréguliers**). Il convient de préférer une forme plutôt circulaire à une forme trop allongée afin de ralentir le comblement et l'assèchement. Les berges seront profilées en pente douce afin de permettre l'installation de ceintures de végétations selon la durée d'inondations.

Les figures suivantes présentent de manière schématique les éléments favorables à une mare diversifiée. Ces éléments valent pour tous types de mares.

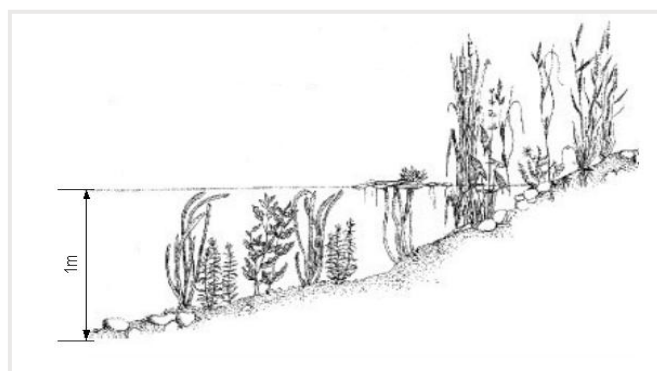


Formes à éviter et à privilégier pour les mares [1/2], © GTAGZH, 2012

De plus, les berges devront être les plus sinueuses possibles afin de maximiser les potentialités de la mare.



Formes à éviter et à privilégier pour les mares [2/2], © GTAGZH, 2012



Coupe d'une mare avec berges en pente douce

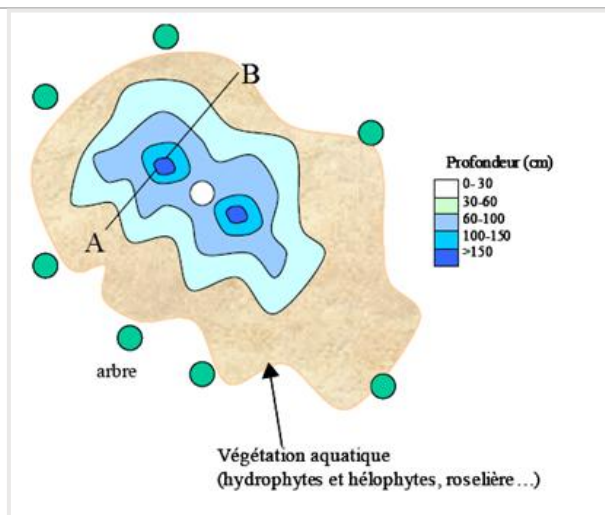


Schéma type de réalisation des mares, © RFF, 2006

Ces mares ne nécessiteront pas la réalisation de plantations : il est préférable de favoriser la **colonisation spontanée** en conservant des secteurs vierges sur les pourtours. Aucune espèce floristique ne devra donc être plantée au niveau des berges. Cela permettra l'implantation d'espèces pionnières, et d'espèces adaptées au contexte local, à partir des populations présentes à proximité.

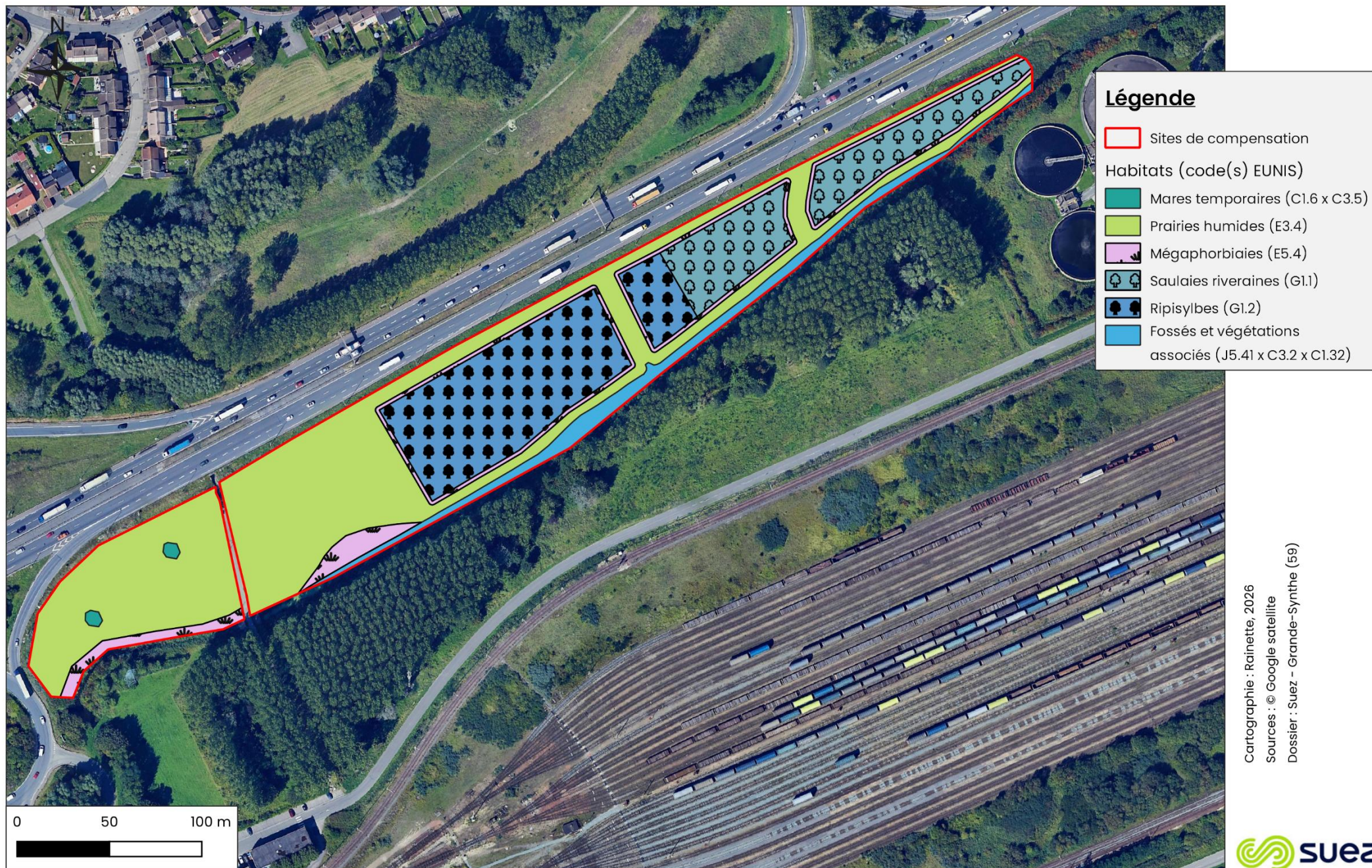
La création des mares sera réalisée dans le cadre des travaux de terrassement (cf. mesures C1.1 ci-avant) et ne nécessitera donc pas de matériel supplémentaire. Les zones décapées pourront être tassées afin de faciliter l'inondation des mares.

COUT ESTIMATIF

Nous estimons à 1 500 € la création d'une mare de 30m² comprenant le creusement et le profilage des berges. Les coûts d'évacuation des terres n'est pas pris en compte. La création de deux mares s'élève donc à au moins 3 000 € HT.

Période d'intervention

Les mares temporaires seront mises en place durant ou à la fin des travaux de terrassements, c'est-à-dire entre **septembre et octobre**.



5.4. Examen de la compensation

5.4.1. Sur le plan fonctionnel

La méthode nationale d'évaluation des fonctions des zones humides (GAYET et al., 2016) permet de s'assurer de la vraisemblance d'une **équivalence fonctionnelle** entre le site impacté avant impact et le site de compensation après action écologique envisagée. De plus, cette méthode a été conçue de manière à garantir la mise en œuvre d'un certain nombre de principes régissant la compensation écologique et édictés dans le Code de l'environnement, en particulier les **principes de proximité géographique, d'efficacité et d'additionnalité écologique**.

5.4.1.1. Vérification des principes de proximité géographique et d'équivalence

Pour rappel, selon la réglementation, le **principe de proximité géographique** implique qu'une mesure de compensation soit située à proximité du site impacté, sur une zone présentant des caractéristiques physiques et anthropiques similaires. De plus, le **principe d'équivalence** implique que la mesure de compensation cible les mêmes composantes de milieux que celles détruites ou altérées.

Dans le cadre de la méthode O.N.E.M.A., ces principes sont évalués par le biais d'une **analyse de la similarité des diagnostics de contexte respectifs du site avant et après action écologique**.

Dans le cas présent, le site impacté avant impact et le site de compensation sont limitrophes, séparés uniquement par un cours d'eau, et par conséquent :

- Présentent des paysages aux caractéristiques similaires.
- L'alimentation des deux zones semble se faire en priorité via la même masse d'eau, à savoir le delta de l'Aa et son associé au même cours d'eau, à savoir le canal Noortgracht.

Au vu de ces éléments, le site impacté avant impact et le site de compensation après action écologique envisagée respectent bien les principes de proximité géographique et d'équivalence régissant la compensation écologique. Dans ce contexte, il est possible d'évaluer la vraisemblance d'une équivalence fonctionnelle selon la méthode de l'O.N.E.M.A.

5.4.1.2. Vérification du principe d'efficacité

Selon la réglementation, le **principe d'efficacité** vise à vérifier que les actions écologiques mises en œuvre permettent d'atteindre les objectifs visés par la compensation, ceci au travers de la production de résultats clairs, précis et contrôlables.

CONCERNANT LES FONCTIONS HYDROLOGIQUES ET BIOGEOCHIMIQUES

La partie suivante liste les différentes actions écologiques proposées pour améliorer les fonctions de la zone humide ainsi que leurs impacts sur les sous-fonctions.

Intensification de l'engorgement du sol (étrépage)

Cette action a pour but d'améliorer l'engorgement en eau et l'hydromorphie du sol et permettre d'accroître les fonctionnalités biogéochimiques associées telle que la dénitrification des nitrates et la séquestration du carbone.

Pour ce faire, la stratégie consiste à faire remonter la nappe d'eau plus proche de la surface du sol en étrépan le sol sur une trentaine de centimètres.

Intensification de l'engorgement de surface (comblement de drainage et diversification des habitats)

Cette action a pour but d'éviter le drainage des eaux météoriques et leur ruissellement afin de favoriser la stagnation hydrique en surface.

Pour ce faire, la stratégie consiste à atterrir, par du matériel limoneux ou argileux (issus de l'étrépage), les différents systèmes de drainage identifiés au sein de la zone d'étude et dans sa zone tampon proche (rigoles et fossés moyens). De plus, la

diversification des habitats, et particulièrement la création d'un habitat arboré (et donc d'un episolum humifère) permettra l'augmentation de la rugosité du couvert végétal. A terme, ces actions écologiques tendront à augmenter, de manière significative, les capacités de la zone humide à exercer les sous-fonctions hydrologiques et biogéochimiques telles que le ralentissement des ruissellements, la rétention des sédiments, l'assimilation végétale des nitrates et des phosphates, la dénitrification, l'adsorption et la précipitation du phosphore ainsi que la séquestration du carbone.

Fonctions affectées par ces actions

Il est considéré que :

- Plus l'engorgement en eau du sol est régulier et proche de la surface, plus l'hydromorphie est intense et plus la séquestration de carbone est importante. En effet, le manque d'oxygène induit par la présence de la nappe potentiellement proche de la surface, ralentit la minéralisation de la matière organique et donc favorise le stockage du carbone.
- De la même manière, le manque d'oxygène favorise la dénitrification des nitrates, processus permettant de limiter la fuite des nitrates dans les nappes d'eau (souterraines ou superficielles).
- A noter également, que la suppression de certains systèmes de drainage (rigoles, fossés moyens, etc...) est propice à l'ensemble des fonctions hydrologiques (ralentissement des ruissellements, recharge des nappes et rétention des sédiments). De plus, elle favorise également l'ensemble des cycles liés à l'azote et au phosphore.
- Également, la création d'un habitat arboré augmente la capacité à séquestrer le carbone et augmente la rugosité du couvert végétal favorisant (à l'exception de la recharge des nappes) l'ensemble des fonctions hydrologique

On peut conclure que les actions écologiques, à savoir l'étrépage, l'effacement de drainage et la création de milieux humides diversifiés (prairies, mégaphorbiaies, boisements et mares), permettront d'améliorer de manière significative les fonctions hydrologiques et biogéochimiques sur le site compensatoire.

Il s'agit, en effet, d'actions écologiques communes avérées dont les bénéfices fonctionnels ont largement pu être constatés et vérifiés par les retours d'expériences.

De plus, dans le cas présent, compte tenu du contexte de l'environnement du site (plaine maritime poldérisée et anthropisée), l'ensemble des sous-fonctions visées par les actions écologiques sont initialement dégradées et peu efficaces. De fait les actions écologiques mises en place seront d'autant plus efficaces et les gains fonctionnels associés d'autant plus importants.

CONCERNANT LES FONCTIONS D'ACCOMPLISSEMENT DU CYCLE BIOLOGIQUE DES ESPECES

Les actions écologiques prévues permettront la création d'habitats humides de plus grand intérêt écologique et plus diversifiés qu'à l'origine (friches herbacées pour la grande majorité). Les actions permettent donc d'obtenir une équivalence fonctionnelle pour les indicateurs « Equipartition des grands habitats » pour les EUNIS niveau 1 et 3, ainsi que pour la « Richesses des habitats » pour les EUNIS de niveau 1 et 3, avec des équivalences correspondant respectivement à 3,8 , 3,4 , 2 et 5,8 fois la perte. L'indicateur « Similarité avec le paysage » atteint également l'équivalence fonctionnelle (1,6 fois la perte).

Notons que le site impacté ne présentait que deux grands habitats EUNIS niveau 1 et de niveau 3. Ce résultat concerne ainsi une des fonctions principales visées par la compensation.

D'autres gains, dans une moindre importance, sont également attendus : « Proximité des habitats » (0,2 fois la perte).

Toutefois, il convient de noter que la méthode ONEMA ne permet pas la prise en compte de la totalité des habitats sur le site impacté ou sur le site compensatoire, compte-tenu de la surface minimale cartographiable (2 500 m²). Il a ainsi été décidé de choisir une surface minimale cartographiable plus petite, 625 m² pour contrer cette limite.

Néanmoins, le fichier implique une deuxième limite concernant la prise en compte des habitats, en excluant les classes d'habitats C1, ne permettant pas la prise en compte des mares créées (code EUNIS C1.3). Or ces plans d'eau permanents seront un support d'habitat supplémentaire, intervenant dans toutes les sous-fonctions associées.

5.4.1.3. Vérification de l'application des principes d'additionnalité écologique et d'équivalence fonctionnelle

Une fois les diagnostics de contexte vérifiés, il est indispensable de vérifier que les actions écologiques envisagées sur le site de compensation engendrent bien un **gain fonctionnel** (principe d'additionnalité), ce dernier devant respecter le **principe d'équivalence fonctionnelle** défini dans le SDAGE.

Dans le cadre de la méthode O.N.E.M.A., l'additionnalité écologique et l'équivalence fonctionnelle sont déterminées en comparant la perte fonctionnelle sur le site impacté avec le gain fonctionnel sur le site de compensation. Cette comparaison nécessite d'intégrer un **ratio d'équivalence fonctionnelle**, qui représente le rapport gain/perte à dépasser pour conclure quant à la vraisemblance d'une équivalence fonctionnelle. Ce ratio est théoriquement fixé par le SDAGE 2022-2027 : le ratio d'équivalence fonctionnelle doit être de 3 pour 1. **Toutefois, ce ratio a été abaissé à 1,5 pour 1, par la Commission Locale de l'Eau, dans le cadre des parcelles prioritaires du SAGE Delta de l'Aa.**

EXAMEN DE LA VRAISEMBLANCE D'UNE EQUIVALENCE FONCTIONNELLE

En prenant en compte le ratio défini précédemment, **l'équivalence fonctionnelle sera vraisemblablement atteinte pour 11 des indicateurs d'après la méthode officielle de l'ONEMA**, à savoir :

- Hydromorphie avec un gain fonctionnel de 17,5 fois la perte ;
- Acidité du sol 2 avec un gain fonctionnel de 14 fois la perte ;
- Richesse des habitats (EUNIS de niveau 3) avec un gain fonctionnel de 5,8 fois la perte ;
- Équipartition des habitats (EUNIS de niveau 3) avec un gain fonctionnel de 3,8 fois la perte ;
- Rareté des fossés avec un gain fonctionnel de 3,7 fois la perte ;
- Équipartition des habitats (EUNIS de niveau 1) avec un gain fonctionnel de 3,2 fois la perte ;
- Couvert végétal 1 avec un gain fonctionnel de 2,4 fois la perte ;
- Richesse des grand habitats (EUNIS de niveau 1) avec un gain fonctionnel de 2 fois la perte ;
- Texture en surface 2 (entre 0 et 30cm) avec un gain fonctionnel de 1,9 fois la perte ;
- Texture en surface 1 (entre 0 et 30cm) avec un gain fonctionnel de 1,8 fois la perte ;
- Similarité avec le paysage avec un gain fonctionnel de 1,6 fois la perte.

Il est à noter que l'indicateur « Couvert végétal 2 » approche l'équivalence fonctionnelle sans l'atteindre, avec un **gain fonctionnel de 1,5 fois la perte**. C'est également le cas de l'indicateur « Texture en profondeur », avec un **gain fonctionnel de 1,4 fois la perte**. Enfin, l'indicateur « Rugosité du couvert végétal » approche également l'équivalence, avec un **gain fonctionnel de 1,3 fois la perte**. Des gains fonctionnels sont également mis en évidence pour des indicateurs n'atteignant pas le ratio fonctionnel de 1,5 : 1 imposé, à savoir :

- Les indicateurs de rareté des rigoles et de proximité des habitats présentent des gains fonctionnels moindres, allant de 0,2 à 0,9 fois la perte ;
- Plusieurs indicateurs (Végétalisation du site, Rareté des fossés, Végétalisation des fossés et fossés profonds, Rareté du ravinement, Matière organique incorporée en surface, et Rareté de l'artificialisation de l'habitat) sont indiqués en gain fonctionnel, avec un gain de 0 fois la perte.

D'après les éléments obtenus à travers la méthode de l'O.N.E.M.A., les mesures compensatoires engendreront vraisemblablement un gain écologique au moins équivalent aux pertes générées par le projet, selon un ratio de 1,5 pour 1, pour au moins 11 indicateurs associés à des enjeux identifiés sur le site impacté et sur son territoire. Parmi ces indicateurs, certains sont largement compensés, tels que l'Hydromorphie (17,5 fois la perte) qui participe activement à la dénitrification des nitrates et à la séquestration du carbone, ainsi que l'acidité du sol 2 (14 fois la perte), qui influence l'adsorption et la précipitation du phosphore.

Néanmoins, ces analyses sont à compléter par les dires d'experts, permettant d'avoir une vision plus fine des gains écologiques. Le tableau en page suivante offre une analyse fine des indicateurs proposés dans la méthode O.N.E.M.A.

EXAMEN DE LA VRAISEMBLANCE D'UNE EQUIVALENCE FONCTIONNELLE SELON LES RETOURS D'EXPERIENCES DE RAINETTE

Le tableau ci-dessous présente une synthèse des indicateurs compensés ou non selon la méthode O.N.E.M.A. et selon notre expertise basée sur nos divers retours d'expériences et analyse des limites de la méthode.

Tableau 6 : Synthèse sur l'équivalence fonctionnelle par indicateur dans les sites, selon l'outil ONEMA et selon les dires d'expert

INDICATEURS	Perte fonctionnelle sur le site impacté avec impact envisagé (Fonctions concernées)	Gain fonctionnel sur le site de compensation avec action écologique	Equivalence fonctionnelle
Le couvert végétal			
Végétalisation du site	Perte fonctionnelle significative : - Avant impact : Couvert végétal permanent très élevé (100%) - Avec impact envisagé : Couvert végétal détruit	Oui (0 fois la perte) Le site compensatoire présentant initialement un couvert végétal permanent sur l'ensemble de sa surface, il est difficile de créer de nouvelles surfaces végétalisées. De fait, cet indicateur ne peut être amélioré et la destruction du couvert végétal sur le site impacté ne peut être compensée (équivalence). Cependant, la nature du couvert végétal va être diversifiée et enrichie par la création de nouveaux habitats.	
Couvert végétal 1	Perte fonctionnelle significative : - Avant impact : Couvert végétal très élevé (100%) - Avec impact envisagé : Couvert végétal détruit	Oui (2,4 fois la perte) Cet indicateur renseigne la capacité d'assimilation végétale des nitrates et des phosphates. L'ensemble des couverts végétaux sont considérés comme équivalents (sauf les couverts muscinaux ou clairsemés), sous réserve qu'une exportation de la biomasse végétale ait lieu dans le cas des couverts herbacés. Dans le cas contraire (absence d'exportation de la biomasse), les couverts herbacés seront considérés moins aptes à retenir l'azote ou le phosphore. Le site compensatoire est actuellement composé d'un couvert herbacé haut sans export de biomasse, considéré comme un couvert « moyennement apte ». Après actions écologiques, une partie de ce couvert sera remplacé par une prairie avec export de biomasse et l'autre sera remplacé par un couvert arboré. En ce sens l'ensemble du couvert végétal du site compensatoire sera modifié au profit d'un couvert plus apte à retenir l'azote et le phosphore. Le gain est donc ici maximal. L'équivalence fonctionnelle est atteinte.	

Couvert végétal 2	Perte fonctionnelle significative : - Avant impact : Couvert végétal très élevé (100%) dont 40% de couvert arboré - Avec impact envisagé : Couvert végétal détruit	Oui (1,5 fois la perte) Cet indicateur renseigne la capacité à séquestrer le carbone. Les actions écologiques mises en place vis-à-vis du couvert végétal vont engendrer une meilleure capacité du site à séquestrer le carbone, particulièrement via la création d'un habitat arboré. A première vue, l'équivalence fonctionnelle n'est pas atteinte en raison de l'importante perte fonctionnelle sur le site impacté (avec environ 40 % de sa surface couverte d'un habitat arboré avant impact). Toutefois, elle est quasiment atteinte (recherche d'un ratio de 1,5). Compte tenu que l'équivalence fonctionnelle concernant l'hydromorphie est largement atteinte (avec un gain de 17,5 malgré un ratio de 1,5), on estime ici que la sous-fonction de la séquestration du carbone est largement compensée. Nous considérons donc que l'éventuelle perte fonctionnelle, vis-à-vis de cet indicateur, est ici compensée (par d'autres indicateurs tels que l'hydromorphie).	
Rugosité du couvert végétal	Perte fonctionnelle significative : - Avant impact : Couvert végétal avec une bonne rugosité dont 40% arboré - Avec impact envisagé : Site détruit	Oui (1,3 fois la perte) Le gain fonctionnel obtenu sur le site compensatoire ici est en grande partie lié à la création d'un couvert arboré. Celui-ci va notamment permettre la rétention des eaux superficielles et des nutriments et donc, à terme, favoriser les sous-fonctions biogéochimiques en lien avec les cycles de l'azote et du phosphore. On notera que, l'alimentation hydrique des zones humides (impactées et restaurées) semble majoritairement verticale et leurs topographies essentiellement planes. De ce fait, cet indicateur, n'est pas essentiel (faible opportunité d'y contribuer). Or, après actions écologiques, la rugosité du couvert végétal sur le site compensatoire s'avèrera davantage contributif aux sous-fonctions hydrologiques et biogéochimiques bien que l'équivalence fonctionnelle ne soit pas atteinte. En effet, l'étrépage et le comblement de drainage vont accroître la réception de ruissellements (issus du débordement du cours d'eau et/ou du talus routier).	
Les systèmes de drainage			
Rareté des rigoles	Aucune perte fonctionnelle : - Avant impact : 35 mètres de rigoles dans la zone tampon	Oui (0,9 fois la perte) L'ensemble des rigoles présentes sur le site compensatoire seront comblées. Cette action permettra effectivement un gain écologique et sera favorable à l'accomplissement des fonctions hydrologiques et biogéochimiques. Or, compte	

	- Avec impact envisagé : 35 mètres de rigoles dans la zone tampon	tenu de la faible densité de rigoles sur le site impacté (localisées seulement dans la zone tampon), il ne s'agit pas d'un indicateur à fort enjeu pour la compensation contrairement à la rareté des fossés (cf. encart suivant).	
Rareté des fossés	Perte fonctionnelle peu significative : - Avant impact : 161 mètres de fossés - Avec impact envisagé : Site détruit	Oui (3,7 fois la perte) La densité du réseau de drainage (majoritairement composé de fossés moyens) au sein du site compensatoire, avant action écologique, contribue de manière très négative sur l'ensemble des sous-fonctions hydrologiques et biogéochimiques. En ce sens le comblement partiel des fossés au sein et aux alentours de la zone humide permettra, d'une part, la rétention des eaux de surface et d'autre part, de nouvel apport hydrique latéral. En effet, le comblement du fossé routier entrainera l'alimentation de la zone humide par les eaux pluviales issues de la route. Le gain écologique lié au comblement des fossés va intensifier l'ensemble des sous-fonctions hydrologiques et biogéochimiques de manière significative. Cet indicateur contribue très positivement à la compensation des sous-fonctions auxquelles contribuent le site impacté.	
Rareté des fossés profonds	Perte fonctionnelle significative : - Avant impact : Absence de fossés profonds - Avec impact envisagé : Site détruit	Oui (0 fois la perte) Le site compensatoire ne présente pas de fossés profonds. Cependant, aucun fossé profond n'est présent sur le site impacté. De fait, la perte fonctionnelle et le gain écologique ici renvoyés par l'outil n'apparaissent pas comme pertinents.	
Végétalisation des fossés et fossés profonds	Perte fonctionnelle significative : - Avant impact : Fossés profonds et rigoles (en zone tampon) entièrement végétalisés - Avec impact envisagé : Site détruit (sans impact sur la zone tampon)	Oui (0 fois la perte) Il est à noter que les entités ici concernées ne sont pas directement présentes dans le site impacté, mais uniquement dans sa zone tampon. De fait, la perte fonctionnelle et le gain écologique ici renvoyés par l'outil n'apparaissent pas comme pertinents. Après actions écologiques, l'ensemble des rigoles et une partie des fossés du site compensatoire sont amenés à disparaître au profit d'autres indicateurs plus importants tel que la rareté du réseau de drainage.	
Rareté des drains souterrains	Non renseigné	Non renseigné	
L'érosion			
Rareté du ravinement	Perte fonctionnelle significative : - Avant impact : Absence de ravinement - Avec impact envisagé : Site détruit	Oui (0 fois la perte) Il n'y a pas de ravinements au niveau du site de compensation, ni sur le site impacté. De la même façon que pour les indicateurs précédents, la perte fonctionnelle et le gain écologique ici renvoyés par l'outil n'apparaissent pas comme pertinents.	

Végétalisation des berges	Pas de perte fonctionnelle : - Il n'y a pas de berge au sein du site	Non (non renseigné) Nous considérons donc qu'ici, il n'y a pas de perte fonctionnelle. De plus, aucune action écologique ne cible cet indicateur (= aucun enjeu).	
Le sol			
Acidité du sol 1	Perte fonctionnelle significative : - Avant impact : pH d'environ 6,5 - Avec impact envisagé : Site détruit	Non Cet indicateur renseigne sur la capacité d'assimilation végétal. Pour des pH compris entre 6 et 7, cet indicateur est très favorable à cette sous-fonction. Initialement le pH est, en majorité, de 6. Les actions écologiques envisagées, particulièrement l'étrépage et la création d'un habitat arboré (et donc d'un épisolum humifère) entraîneront une augmentation de matière organique et donc une potentielle acidification défavorable à l'assimilation végétal. Les actions écologique mises en place ne sont pas favorables à cet indicateur (au profit d'autres). Les pertes ne peuvent donc pas être compensées.	
Acidité du sol 2	Perte fonctionnelle significative : - Avant impact : pH d'environ 6,5 - Avec impact envisagé : Site détruit	Oui (14 fois la perte) Cet indicateur renseigne, quant à lui, la capacité d'adsorption et la précipitation du phosphore. A l'inverse de l'indicateur précédent, un pH compris entre 6 et 7 est très défavorable à ces sous-fonctions. De fait, ici, l'acidification envisagée à l'issue des actions écologiques mises en place est bénéfique et entraine donc un important gain écologique. On notera que la sous-fonction renseignée, particulièrement l'adsorption du phosphore, sera également favorisé par l'étrépage du fait de l'augmentation d'argiles en surface (surfaces actives ayant d'importantes capacités de rétention).	
Matière organique incorporée en surface	Perte fonctionnelle significative : - Avant impact : Episolum humifère 15 à 20 cm (localement sous forêt – 40%) - Avec impact envisagé : Site détruit	Oui (0 fois la perte) Cet indicateur exerce une influence importante sur la séquestration du carbone, la rétention des sédiments et les fonctions associées au cycle de l'azote. Les actions écologiques mises en place vis-à-vis du couvert végétal permettront de recréer à moyen terme, un épisolum humifère mais sur une échelle de temps très grande (pousse des arbres).	
Matière organique enfouie	Pas de perte fonctionnelle : - Il n'y a pas de matière organique enfouie sur le site impacté	Non Il n'y a pas de matière organique enfouie sur le site compensatoire.	

		Indicateur sans enjeu.	
Tourbe en surface	Pas de perte fonctionnelle : -Il n'y a pas de tourbe sur le site impacté	Non Il n'y a pas de tourbe sur le site compensatoire. Indicateur sans enjeu.	
Tourbe enfouie	Pas de perte fonctionnelle : -Il n'y a pas de tourbe sur le site impacté	Non Il n'y a pas de tourbe sur le site compensatoire. Indicateur sans enjeu.	
Texture en surface 1	Perte fonctionnelle significative : - Avant impact : Texture argilo-limoneuse - Avec impact envisagé : Artificialisation des horizons de surface.	Oui (1,8 fois la perte) Cet indicateur renseigne sur la capacité du sol à retenir les sédiments. Le calcul de l'indicateur prend en compte les différentes textures du sol. De manière synthétique, plus la proportion en limons augmente et plus la texture est défavorable à la rétention des sédiments. Dans le cas du site compensatoire, l'étrépage envisagé, va entraîner la transition d'une texture limono-sableuse à limono-argileuse vers une texture argilo-limoneuse. De fait, cet indicateur sera, après actions écologiques, davantage favorable à la rétention des sédiments. Le gain engendré est suffisant pour atteindre l'équivalence fonctionnelle.	
Texture en surface 2	Perte fonctionnelle significative : - Avant impact : Texture argilo-limoneuse - Avec impact envisagé : Artificialisation des horizons de surface.	Oui (1,9 fois la perte) Ici, plus la texture est fine et plus celle-ci est favorable à la dénitrification des nitrates. Dans le cas du site compensatoire, l'étrépage envisagé, va entraîner la transition d'une texture limono-sableuse à limono-argileuse vers une texture argilo-limoneuse. De fait, cet indicateur sera, après actions écologiques, davantage favorable à la dénitrification. Le gain engendré est suffisant pour atteindre l'équivalence fonctionnelle.	
Texture en profondeur	Perte fonctionnelle peu significative : - Avant impact : Texture sableuse dominante - Avec impact envisagé : Artificialisation des horizons de surface	Oui (1,4 fois la perte) De la même manière que pour l'indicateur précédent, plus la texture est fine et plus celle-ci est favorable à la dénitrification des nitrates.	

		L'étrépage envisagé entrainera la transition d'une texture argilo-limoneuse à argilo-sableuse vers une texture argilo-sableuse. De fait la proportion de sable va augmenter au détriment des limons, pourtant davantage favorable à la dénitrification (dans une moindre mesure). Cela dit compte tenu de la présence d'argiles, on peut tout de même dire qu'il 'agit d'une texture plutôt favorable (forte proportion d'argiles). Le gain engendré est très proche de l'équivalence fonctionnelle. De plus, les actions écologiques envisagées conduiront à un meilleur engorgement et favoriseront grandement la dénitrification.	
Conductivité hydraulique en surface	Perte fonctionnelle significative : - Avant impact : Texture argilo-limoneuse dominante - Avec impact envisagé : Artificialisation des horizons de surface	Non L'étrépage envisagé conduira à la remontée en surface des horizons intermédiaires plus argileux et donc plus imperméables. En ce sens, il n'y a pas de gains écologiques vis-à-vis de cet indicateur au profit de l'hydromorphie (étrépage). Compte tenu de la proportion argileuse sur l'ensemble du profil de sol sur le site compensatoire, cet indicateur ne peut être drastiquement amélioré.	
Conductivité hydraulique en profondeur	Perte fonctionnelle significative : - Avant impact : Texture sableuse dominante (forte conductivité) - Avec impact envisagé : Artificialisation des horizons de surface	Non Ici, plus la texture est grossière (sableuse par exemple), plus la conductivité est faible et plus celle-ci est favorable à la sous-fonction de recharge des nappes. Ici, le tableur ne considère pas de gain car la texture argilo-sableuse ne peut être prise en compte. Il s'agit d'une des limites de la méthode. L'étrépage va conduire à la transition d'une texture argilo-limoneuse à argilo-sableuse vers une texture majoritairement argilo-sableuse. La disparition des limons au profit des sables (malgré la présence avant et après actions des argiles) tend à augmenter la conductivité hydraulique en profondeur. Donc l'étrépage permettra, une légère augmentation des capacités de la zone à recharger les nappes bien que l'équivalence vis-à-vis de cette sous-fonctions ne sera probablement pas atteinte.	
Hydromorphie	Perte fonctionnelle significative : - Avant impact : Hydromorphie à partir de 45 cm de profondeur - Avec impact envisagé : Artificialisation des horizons de surface et disparition de la zone humide	Oui (17,5 fois la perte) L'étrépage permettra de faire remonter les horizons plus profonds et donc indirectement le niveau de la nappe. Les traits d'hydromorphie seront d'autant plus fonctionnels. Les horizons intermédiaires plus riches en argiles, favoriseront potentiellement la stagnation hydrique en surface. De plus, cette action écologique favorisera l'effet cuvette (dépression topographique).	

		Au regard des gains très forts, à savoir plus de 15 fois la perte engendrée sur le site impacté, cette action contribue très favorablement aux sous-fonctions associées de dénitrification et de séquestration du carbone. Pour rappel, il s'agit là de deux des sous-fonctions les plus contributives de la zone humide avant impact.	
Les habitats			
Richesse des grands habitats	Perte fonctionnelle significative : - Avant impact : 2 grands habitats - Avec impact envisagé : Site détruit	Oui (2 fois la perte) L'action écologique envisagée permettra de retrouver un second grand habitat (EUNIS niveau 1) au sein du site par la création de prairies, lisières et forêts au détriment de friches et jachères récemment abandonnées. De fait, l'action apporte un gain écologique au milieu permettant d'atteindre l'équivalence écologique.	
Equipartition des grands habitats	Perte fonctionnelle significative : - Avant impact : Equitabilité de répartition des grands habitats très élevée (E=0,98) - Avec impact envisagé : Site détruit	Oui (3,8 fois la perte) Les habitats projetés sur le site de compensation ont des surfaces similaires, induisant une equipartition très élevée (E=0,96) après actions écologiques. Avant action écologique, l'équipartition du site de compensation était considérée comme « très réduite ». L'action écologique permet donc l'atteinte de l'équivalence fonctionnelle sur cet indicateur.	
Proximité des habitats	Perte fonctionnelle significative : - Avant impact : Très faible isolement des habitats (0,1 km en moyenne) - Avec impact envisagé : Site détruit	Oui (0,1 fois la perte) Le site impacté et le site compensatoire après actions écologiques présentent deux grands habitats (EUNIS niveau 1) chacun. De plus, les distances entre les habitats sont très faibles, 0,210 km pour le site impacté, et 0,206 km pour le second. Un faible gain écologique est donc ici attendu. La compensation de cet indicateur peut difficilement être meilleur, la fragmentation des habitats étant déjà très faible. La recherche d'un meilleur gain ici, entraînerait des pertes non négligeables sur d'autres indicateurs.	
Similarité avec le paysage	Perte fonctionnelle significative : - Avant impact Habitats extrêmement différents du paysage (Coef. Sim = 0,12). - Avec impact envisagé : Site détruit	Oui (1,6 fois la perte) Les actions écologiques permettront de recréer des habitats extrêmement différents du paysage (Coef. Sim = 0,12).	

		La compensation permet d'obtenir un gain fonctionnel sur le site (anciennement Coef. Sim = 0,07), atteignant l'équivalence fonctionnelle.	
Richesse des habitats	Perte fonctionnelle significative : - Avant impact : 2 habitats - Avec impact envisagé : Site détruit	Oui (5,8 fois la perte) 4 habitats EUNIS de niveau 3 sont recréés sur le site de compensation : une prairie eutrophe ou mésotrophe humide, une forêt riveraine avec dominance d' <i>Alnus</i> , <i>Populus</i> ou <i>Salix</i> , une forêt riveraine mixte et une lisière humide à grandes herbacées. Seuls deux habitats sont détruits sur le site impacté. Ainsi, la compensation permet d'atteindre une équivalence fonctionnelle, avec un gain fort.	
Equipartition des habitats	Perte fonctionnelle significative : - Avant impact : Equitabilité de répartition des grands habitats très élevée (E=0,98) - Avec impact envisagé : Site détruit	Oui (3,4 fois la perte) Les habitats projetés sur le site de compensation ont des surfaces similaires, induisant une equipartition très élevée (E=0,82), induisant un gain fonctionnel important, atteignant l'équivalence fonctionnelle.	
Rareté des lisières	Perte fonctionnelle significative : - Avant impact : Faible densité de lisières (198,3 m/ha) - Avec impact envisagé : Site détruit	Non Les actions écologiques entraîneront la création d'un linéaire important de lisières (1049 m/ha) sur le site de compensation. Cet indicateur n'entraîne aucun gain fonctionnel.	
Rareté de l'artificialisation de l'habitat	Perte fonctionnelle significative : - Avant impact : Perturbation anthropiques assez réduites - Avec impact envisagé : Site détruit	Oui (0 fois la perte) L'indice de rareté de l'artificialisation de l'habitat n'évolue pas après actions écologiques, celui-ci étant figé sur « Perturbations anthropiques modérées à quasi-absentes ». Cet indicateur n'entraîne que très peu de gains fonctionnels.	
Rareté des invasions biologiques végétales	Non renseigné	Non renseigné	

	Perte fonctionnelle non compensée
	Perte fonctionnelle non significative
	Gain fonctionnel n'induisant pas la compensation de la perte fonctionnelle (Méthode ONEMA)
	Perte fonctionnelle potentiellement compensée (estimée à partir des expertises RAINETTE, en tenant compte des limites de la méthode ONEMA)
	Perte fonctionnelle compensée (estimée à partir des résultats du tableur ONEMA et des expertises RAINETTE)

D'après les analyses des fonctionnalités et les éléments obtenus à travers la méthode de l'O.N.E.M.A et notre analyse, les mesures compensatoires engendreront vraisemblablement un gain écologique au moins équivalent aux pertes générées par le projet, selon un ratio de 1,5 pour 1, pour au moins 11 indicateurs associés à des enjeux identifiés sur le site et sur son territoire selon l'outil ONEMA. Certains de ces indicateurs dépassent largement les ratios de compensation imposés, avec des gains dépassant les 14 et 17 fois la perte initiale. De plus, un gain fonctionnel sans aller à l'équivalence est attendu sur 11 indicateurs. Certains de ces indicateurs s'approchent d'ailleurs de l'équivalence : le Couvert végétal 2, la Rugosité du couvert végétal, et la Texture en profondeur avec respectivement des fonctionnels de 1,5 ; 1,3 et 1,4 fois la perte.

Il est nécessaire de rappeler que la méthode O.N.E.M.A implique une limite concernant la prise en compte des habitats, en excluant les classes d'habitats C1, ne permettant pas la prise en compte des mares créées (code EUNIS C1.3). Or ces plans d'eau permanents seront un support d'habitat supplémentaire, intervenant dans toutes les sous-fonctions associées. De plus, la compensation présente de nombreux indicateurs qui ne peuvent pas être améliorés (impossibilité relative au site de compensation ou limites du tableur).

Dans ce contexte, nous considérons que la compensation proposée respecte le principe d'efficacité régissant la compensation écologique.

Pour rappel, d'autres mesures compensatoires sont dimensionnées dans le cadre de la construction du méthaniseur de Grande-Synthe. Les boisements anthropiques présents sur la zone d'étude et au sud des sites de compensations dédiés aux zones humides seront sanctuarisés et laissés en ilots de vieillissement. Deux autres sites seront dédiés au transfert d'espèces protégées floristiques, assurant des espaces ouverts à proximité.

Une espèce d'orchidée protégée sera d'ailleurs transplantée sur la future prairie humide du site n°2.

6. Mesures d'accompagnement et de suivi

6.1. Sur le plan de la pérennité de la mesure

Outre le respect des principes de proximité géographique, d'efficacité, d'équivalence fonctionnelle et d'additionnalité écologique détaillés précédemment, le demandeur doit fournir la preuve que les mesures compensatoires sont mises en œuvre **de manière pérenne pendant la durée de l'engagement**.

Dans le cas présent, le site de compensation appartient au maître d'ouvrage. Un gestionnaire du site sera désigné (Conservatoire d'Espaces Naturels par exemple), et les modalités de gestion (dates et fréquences de fauche...) seront encadrées par un **plan de gestion**.

Par ailleurs, la pérennité des mesures passe également par la **mise en place de mesures d'accompagnement et de suivis écologiques**, détaillées ci-après.

Ainsi, les mesures décrites précédemment respectent bien le principe de pérennité régissant la compensation écologique.

6.2. Mesures d'accompagnement

6.2.1. Réalisation d'un plan de gestion sur les sites de compensation ex-situ intégrant les mesures de compensation A3 (Code A9)

Comme présenté dans le rapport « Etude Faune, Flore et Habitats et Délimitation des zones humides – Construction d'une usine de méthanisation – Rainette SAS – Mai 2024 », l'ensemble des sites de compensation (dont le site concerné par ce document) seront encadrés par un plan de gestion réalisé par un écologue pour une durée de 5 ans, à renouveler au minimum 6 fois (soit pendant au moins 30 ans).

6.2.2. Mesures de transfert et de récolte pour la flore A4 (Code A5.b)

Comme présenté dans le rapport « Etude Faune, Flore et Habitats et Délimitation des zones humides – Construction d'une usine de méthanisation – Rainette SAS – Mai 2024 », plusieurs espèces floristiques protégées ou patrimoniales sont impactées par le projet. Ces espèces font l'objet d'une mesure de transfert et de récolte afin de les sauvegarder.

L'une de ces espèces, l'Orchis incarnat (*Dactylorhiza incarnata*), sera notamment replantée dans la prairie humide du site de compensation décrit dans ce document.

6.3. Mesures de suivis

6.3.1. Suivis écologiques

Il est essentiel de suivre l'évolution des aménagements réalisés afin d'évaluer leur efficacité. L'évaluation sera essentiellement basée sur le maintien de certaines espèces et la colonisation ou non des milieux créés.

Ce suivi pourra mettre en évidence la reprise ou non de la végétation et permettra des réajustements dans la gestion du site. Il s'inscrira dans la continuité des suivis de chantier réalisés durant les travaux. Ce suivi pourra également mettre en évidence l'apparition d'espèces floristiques patrimoniales et l'utilisation du site par la faune, notamment dans le cadre des mesures de réduction (remises en état et valorisations écologiques) et des mesures compensatoires.

Il s'agira également d'évaluer l'évolution des fonctions hydrologiques et biogéochimiques en suivant l'évolution du sol à partir des sondages géoréférencés et de vérifier l'accomplissement des fonctions visées.

Un passage en année n+1, +3, +5, +7, +10 après les travaux sera réalisé puis tous les 5 ans, sur une durée de 30 ans.

Coût estimatif associé :

Un passage et son compte-rendu correspondent à 2 jours, soit 1160 €.

6.4. Synthèse des mesures

Une synthèse des mesures d'évitement, de réduction, de compensation, d'accompagnement ainsi que des différents suivis est proposée dans le document suivant : « [Etude Faune, Flore et Habitats et Délimitation des zones humides – Construction d'une usine de méthanisation – Rainette SAS – Mai 2024](#) ».

Pour rappel d'autres mesures de compensation sont prévues à proximité des sites dans le cadre de l'étude d'impact et du dossier de dérogation espèces protégées du projet. En ce sens, la synthèse suivante, commune à tous les dossiers est proposée :

« Pour rappel, la surface impactée par le projet est de **0,9988 ha**, composée à 60% de milieux ouverts en fermeture (prairies piquetées) et à 40% de milieux boisés.

La surface totale de compensation concerne une surface de **6,68 ha**, répartie en plusieurs sites de compensation :

- Les sites ex-situ n°1 et n°2, dédiés à la compensation « zones humides » : 3,43 ha ;
- Les sites ex-situ n°3 et 3bis : 0,95 ha ;
- Le site in-situ et ex-situ n°4 : 2,30 ha.

Le tableau suivant synthétise les connaissances sur les habitats de compensation.

Tableau 7 : Synthèse des habitats impactés, recréés, restaurés ou conservés

Habitat	Code	Site	Surface (ha)
Impacts du projet			
Boisements anthropiques	G1.C	Impacté	0,38
Fossés et végétations associées	C3.2I x E5.4II		0,0044
Haies arbustives	FA.3		0,0013
Prairies mésophiles piquetées	E2.7xE5.22		0,59
Habitats restaurés, recréés ou conservés			
Boisements anthropiques	G1.C	Site in-situ et ex-situ n°4	2,3
Mares temporaires	C1.6xC3.5	Site n°2	0,04
Mégaphorbiaies	E5.4	Site n°1	0,32
Prairies de fauche	E2.2	Site n°3 et 3bis	0,71
Prairies humides	E3.4	Site n°2	1,70
Ripisylves – Boisements riverains	G1.2	Site n°1	0,81
Saulaies riveraines	G1.1	Site n°1 et 2	0,47
Distance avec le site impacté			
Site ex-situ n°1		~30 mètres	
Site ex-situ n°2		~260 mètres	
Site ex-situ n°3		~300 – 310 mètres	
Site ex-situ n°3bis		~2 mètres	
Site in-situ et ex-situ n°4		0 à ~270 mètres	
	Compensation dimensionnée dans le cadre de la méthode O.N.E.M.A (Fonctionnalités des zones humides)		

Pour rappel, nous avons choisi un ratio de compensation pour les habitats détruits au minimum de 1 pour 1 : « La compensation prendra place sur plusieurs sites de compensation [...] Nous attribuons un ratio de compensation de 1 pour 1 pour les habitats détruits, au regard de leur anthropisation (boisement) et/ou de leur état de conservation (prairie en fermeture). »

Le tableau suivant synthétise les surfaces impactées et compensées pour chaque milieu :

Tableau 8 : Comparaison des surfaces impactées et compensées par milieu

Milieux impactés	Surface impactée (ha)	Milieux compensatoires	Surface compensée (ha)	Surface totale compensée (ha)	Ratio atteints
Milieux boisés : Boisements anthropiques et Haies arbustives	0,38 et 0,0013 ha	Ripisylves	0,81 ha	3,58 ha	9,39
		Saulaies riveraines	0,47 ha		
		Boisements anthropiques	2,30 ha		
Milieux aquatiques : Fossés et végétations associées	0,0044 ha	Mares temporaires	0,04 ha		9,09
Milieux ouverts : Prairies mésophiles piquetées	0,59 ha	Prairies de fauche	0,71 ha	2,41 ha	4,08
		Prairies humides	1,70 ha		

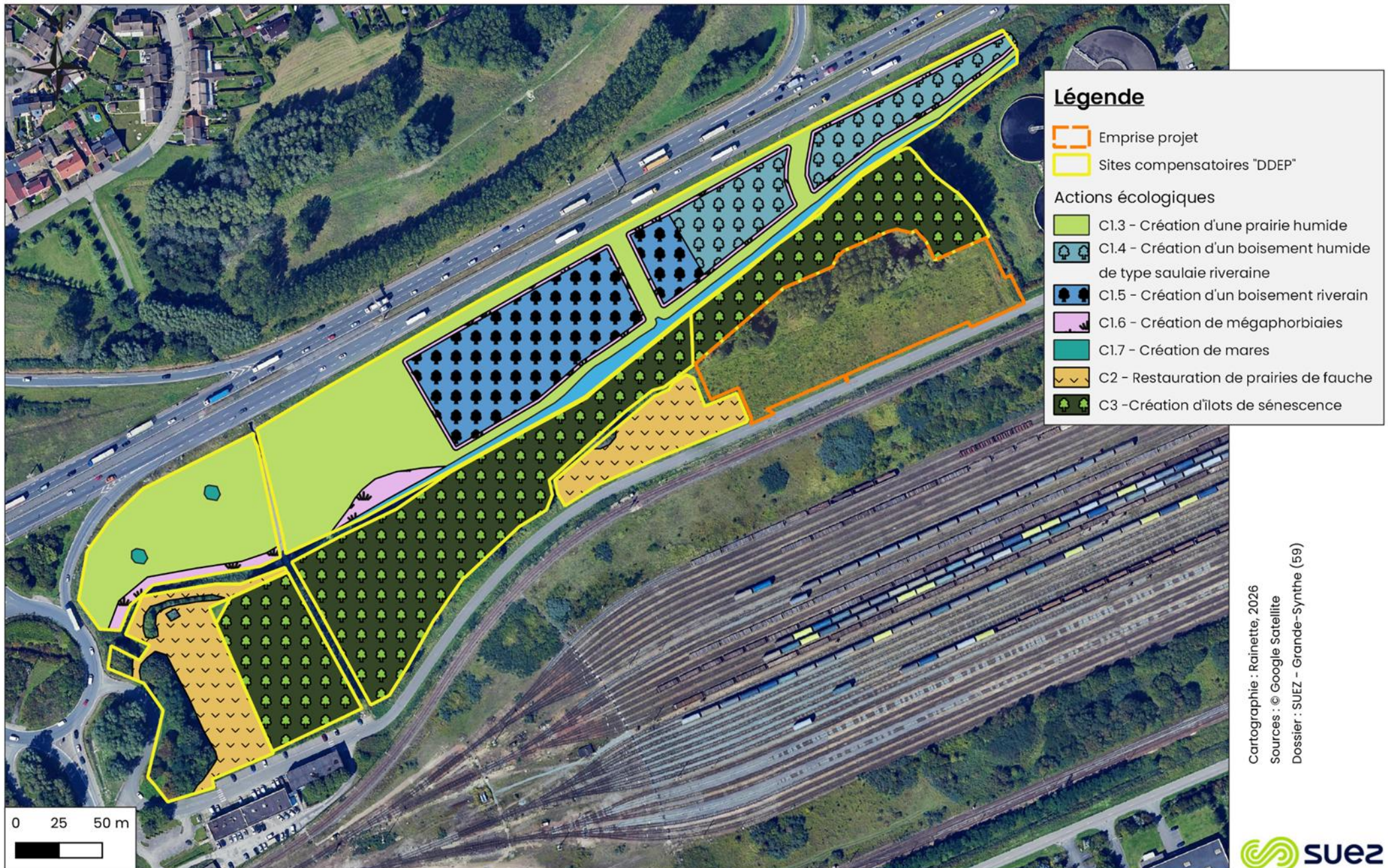
Les milieux boisés sont impactés à hauteur de 0,38 ha, et compensés de deux façons :

- Par la création de boisements humides sur les sites ex-situ n°1 et 2 : 1,28 ha ;
- Par la sanctuarisation des boisements anthropiques in-situ et ex-situ au projet : 2,30 ha.

Par conséquent, le ratio de 1 pour 1 est amplement respecté pour les milieux boisés. De la même façon, les milieux humides et ouverts respectent également ces recommandations.

☞ La carte en [page suivante](#) illustre les habitats projetés sur 15 ans après mise en œuvre des actions écologiques présentées plus tôt. »

Habitats projetés suite aux actions écologiques envisagées



Cartographie : Rainette, 2026
Sources : © Google Satellite
Dossier : SUEZ - Grande-Synthe (59)

7. Annexes

Annexe 1 : Suivi et reporting des travaux d'aménagement du site de compensation en lien avec l'autorisation D-IOTA-145959-878-011 « zone humide »



Communauté Urbaine de Dunkerque

Suivis et reporting : Création d'une unité de méthanisation – STEU de Grande-Synthe

Travaux d'aménagement du site de compensation 2024-2025 en lien avec l'autorisation D-IOTA-231016-145959-878-011 « zone humide » du 08/08/2024



Bureau Local de la Biodiversité

29/12/2025

Source photos : BLB

Rapport de suivis et reporting (phase travaux)

Sommaire

I.	Rappel du contexte	2
II.	Mesures de compensation réalisées 2024-2025.....	3
1)	MC1.1 : Etrépage	3
2)	MC1.7 : Création de mares.....	5
3)	MC2 : Restauration de prairies de fauche.....	6
III.	Conclusion	8

I. Rappel du contexte

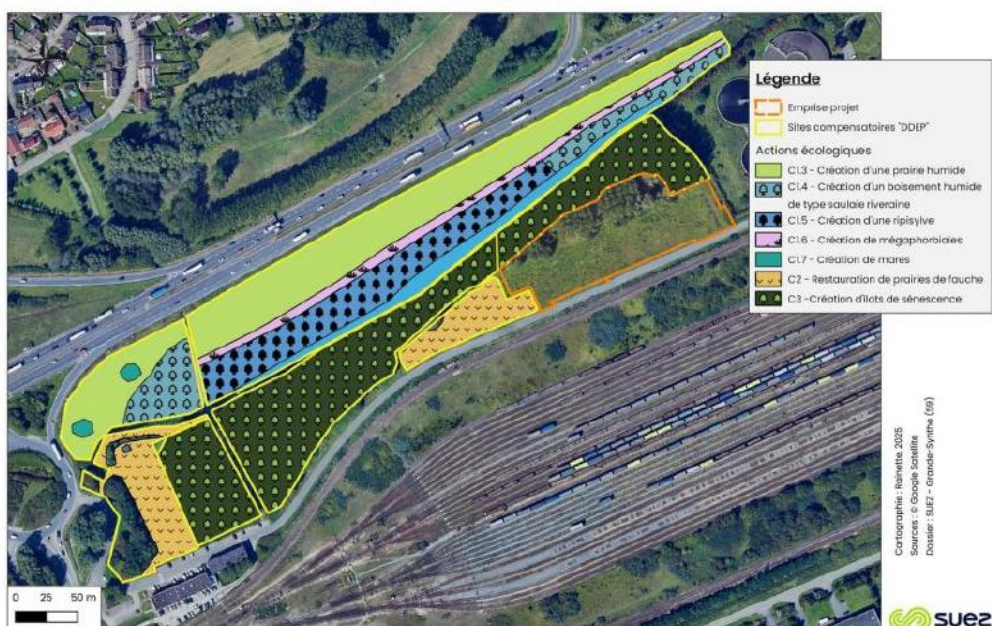
Dans le cadre de l'instruction du dossier de déclaration, au titre des articles L. 214-1 à L. 214-6 du Code de l'environnement, enregistré sous le n°DIOTA-231016-145959-878-011 concernant la « Construction d'une unité de méthanisation de boues d'épuration sur la station de Grande-Synthe » pour lequel aucune opposition n'a été faite, la Communauté Urbaine de Dunkerque a été autorisée à entreprendre cette opération en date du 8 août 2024.

A ce titre seuls les travaux en lien avec la restauration de la zone humide du site de compensation ont été entrepris.

Localisation de l'ensemble des sites de compensation dans le cadre de la construction de l'usine de méthanisation



Habitats projetés suite aux actions écologiques envisagées



II. Mesures de compensation réalisées 2024-2025

1) MC1.1 : Etrépage

La première mesure de restauration de la zone humide consistait à l'étrépage des sites ex-situ 1 et 2, soit 3,65ha. Dans la mesure décrite par le Bureau d'Etude Rainette, il était préconisé :

- D'éliminer le couvert végétal et d'extraire les 10 premiers centimètres de terre et les placer en andain pour reprise,
- Puis d'extraire et d'exporter les 40 centimètres suivants,
- Et enfin de renapper sur la surface de cure les 10 premiers centimètres extraits et stockés préalablement.

Au regard de la surface l'étrépage a été réalisé de façon mécanique via l'entreprise STC Courtois.

Le démarrage du chantier a eu lieu le 5 novembre 2024 et a débuté par le site ex-situ 1. Suites aux conditions météorologiques et aux nombreuses intempéries de 2024, le chantier a été arrêté le 6 décembre 2024. Il a ensuite repris le 7 mars 2025 sur le site ex-situ 2 et s'est clôturé le 6 mai 2025.

Démarrage du chantier le 5/11/2024 :



Photo 1: Site ex-situ 1 avant travaux



Photo 2 : Site ex-situ 1 - extraction et mise en andain des 10 premiers cm de sol

Rapport de suivis et reporting (phase travaux)

Arrêt du chantier le 6/12/2024 pour cause d'intempéries :



Photo 3 : Site ex-situ 1 - étrépage et export des terres



Photo 4 : Site ex-situ 1 - arrêt du chantier

Reprise du chantier le 7/04/2025 :



Photo 5 : Site ex-situ 1 reprise du chantier

Rapport de suivis et reporting (phase travaux)

Fin du chantier le 6/05/2025 :



Photo 6 : Site ex-situ 2 - étrépage et régalinge terminés



Photo 7 : Site ex-situ 1 - étrépage et régalinge terminés

Dans un souci d'économie circulaire les terres exportées ont été réutilisées pour des projets et des besoins de remblais communautaires sur les communes de Petite-Synthe et Rosendaël.

2) MC1.7 : Création de mares

La mesure C1.7 préconisait la création de deux mares sur le site ex-situ 2. Afin d'être le plus favorable possible à l'accueil de la faune et de la flore les mares créées ont :

- Une superficie comprise entre 150 et 250m²,
- Des berges profilées en pente douce, à raison d'une pente de 10%,
- Un fond irrégulier d'une profondeur maximale d'1,50m,
- Un contour irrégulier.

La colonisation spontanée a également été privilégiée.



Photo 8 : Mare 1



Photo 9 : Mare 2

Rapport de suivis et reporting (phase travaux)

3) MC2 : Restauration de prairies de fauche

La dernière action réalisée en 2025 consistait en la restauration des prairies de fauche notamment celle du site ex-situ 3 bis. En effet la prairie n'a plus été entretenue depuis l'été 2022 causant la fermeture du milieu par le développement rapide de la strate arbustive.



Photo 10 : Google Street View 2020 Site ex-situ 3 bis



Photos 3 : Prairie mésophile piquetée © Rainette, 2022



Photo 11 : Site ex-situ 3 bis 2024



Photo 12 : Site ex-situ 3 bis 2025

Rapport de suivis et reporting (phase travaux)

Les espèces protégées initialement relevées avaient été balisées le 16 mai 2024. Puis lors des suivis 2025 il a été constaté que peu de pieds étaient ressortis. Il a donc été décidé d'effectuer un passage avec un broyeur forestier le 27 novembre 2025, afin de rouvrir le milieu et ainsi favoriser la réapparition de pieds d'orchidées présents en 2022-2024, non revus en 2025.



Photo 13 et 14 : Balisage des espèces protégées mai 2024



Cette mesure facilitera également le déplacement des espèces protégées prévu en 2026, une fois l'autorisation préfectorale obtenue.



Photo 15 : 2025 absences de pieds d'Orchis de Fuchs par rapport au balisage 2024



Photo 16 : Passage d'un gyrobroyeur forestier le 27 novembre 2025

III. Conclusion

Les travaux liés à la restauration de la zone humide se sont achevés au printemps 2025. Ainsi, il a pu être constaté cet automne que la prairie humide créée était bien inondée et engorgée aux périodes attendues. Les deux mares créées se sont également bien remplies et l'on peut déjà penser que l'une sera une mare permanente (mare 2) et l'autre sera semi-permanente (mare 1).

La végétation relevée présente également des caractéristiques liées au milieu humide avec notamment la présence en abondance de Consoude officinale. Un relevé de la flore sera réalisé en période favorable en 2026.



Photo 17 à 20 : Site ex-situ 1 et 2 novembre 2025 prairie humide inondée et mares bien en eaux

Enfin les autres mesures de compensation, d'accompagnement et de suivis seront poursuivies en 2026 une fois l'autorisation obtenue. Les rapports de suivis et reporting seront transmis avant le 31 décembre de l'année écoulée aux services de l'Etat.

8. Bibliographie

8.1. Bibliographie générale

BIORET F, ESTEVE R. ET STURBOIS A., 2009. Dictionnaire de la protection de la nature. Collection "Espace et territoire", Presses Universitaires de Rennes. 537p.

GRASSET B, Novembre 2010 (version n°2). Guide méthodologique, inventaire et caractérisation des zones humides. Forum des marais atlantiques. 69p.

GRASSET B, 2008. Marais mode d'emploi n°3. Guide méthodologique d'inventaire et de caractérisation des zones humides. Forum des marais atlantiques. 97p.

Arrêté du 24 juin 2008 précisant les critères de définition et de délimitation des zones humides en application des articles L. 214-7-1 et R. 211-108 du code de l'environnement

Arrêté du 1er octobre 2009 modifiant l'arrêté du 24 juin 2008 précisant les critères de définition et de délimitation des zones humides en application des articles L. 214-7-1 et R. 211-108 du code de l'environnement

Circulaire du 18 janvier 2010 relative à la délimitation des zones humides en application des articles L. 214-7-1 et R. 211-108 du code de l'environnement

Note technique du 26 juin 2017 relative à la caractérisation des zones humides

8.2. Bibliographie liée à l'expertise floristique

BÉGUIN C., GEHU J.-M. & HEGG O., 1979. La symphytosociologie une approche nouvelle des paysages végétaux. Doc. Phytos., N.S., 4, 49-68. Lille.

BISSARDON M., GUIBAL L. & RAMEAU J.-C., 1997. CORINE Biotopes, Types d'habitats français. *E.N.G.R.E.F. - Nancy*, 217 p.

BARDAT J., BIRET F., BOTINEAU M., BOULLET V., DELPECH R., GEHU J.-M., HAURY J., LACOSTE A., RAMEAU J.-C., ROYER J.-M., ROUX G. & TOUFFET J. 2004. Prodrome des végétations de France. *Museum national d'histoire naturelle*, Paris. 171 p.

BENSETTITI F., PUISAUVRE R., LEPAREUR F., TOUROULT J. & MACIEJEWSKI L., 2012. Evaluation de l'état de conservation des habitats et des espèces d'intérêt communautaire – Guide méthodologique – DHFF article 17, 2007-2012. Version 1 – Février 2012. Rapport SPN 2012-27, Service du patrimoine naturel, *Muséum national d'histoire naturelle*, Paris, 76 p. + annexes.

CATTEAU, E & *al.*, 2021. Végétation du nord de la France : Guide de détermination. Conservatoire botanique national de Bailleul, Editions biotopes, Mèze, 400 p.

CATTEAU E. & DUHAMEL F. (coord.), 2014. Inventaire des végétations du nord-ouest de la France. Partie 1 : analyse synsystématique. Version n°1 / avril 2014. Centre régional de phytosociologie agréé Conservatoire botanique national de Bailleul, avec la collaboration du Collectif phytosociologique du nord-ouest de la France. 50 p. (document téléchargeable sur le site du Conservatoire botanique national de Bailleul, <https://www.cbnbl.org/je-telecharge>).

CATTEAU E. & DUHAMEL F. (coord.), 2014. Inventaire des végétations du nord-ouest de la France. Partie 2a : évaluation patrimoniale des végétations du Nord-Pas de Calais. Version n°1 / avril 2014. Centre régional de phytosociologie agréé Conservatoire botanique national de Bailleul, avec la collaboration du Collectif phytosociologique du nord-ouest de la France. 39 p.

CATTEAU E., DUHAMEL F., BALIGA M.F., BASSO F., BEDOUET F., CORNIER T., MULLIE B., MORA F., TOUSSAINT B. & VALENTIN B., 2009. Guide des végétations des zones humides de la Région Nord-Pas-de-Calais. Centre régional de phytosociologie agréé Conservatoire botanique national de Bailleul, 632 p. Bailleul.

CATTEAU E., DUHAMEL F., CORNIER T., FARVACQUES C., MORA F., DELPLANQUE S., HENRY E., NICOLAZO C. & VALET J.-M., 2010. Guide des végétations forestières et préforestières de la Région Nord-Pas-de-Calais. Centre régional de phytosociologie agréé Conservatoire botanique national de Bailleul, 632 p. Bailleul.

CENTRE REGIONAL DE PHYTOSOCIOLOGIE AGREE CONSERVATOIRE BOTANIQUE NATIONAL DE BAILLEUL, 2016. Liste des végétations du nord-ouest de la France (Région Haute-Normandie, région Nord - Pas de Calais et région Picardie) avec évaluation patrimoniale et correspondance vers les typologies EUNIS et Cahiers d'habitats. Référentiel syntaxonomique et référentiel des statuts des végétations de DIGITALE. Version 1.2. DIGITALE (Système d'information floristique et phytosociologique) [Serveur]. Bailleul : Centre régional de phytosociologie agréé Conservatoire botanique national de Bailleul, 1994-2016 (date d'extraction : 14/10/2016).

COMBROUX, I., BENSETTITI, F., DASZKIEWICZ, P. & MORET J, 2006. Evaluation de l'Etat de conservation des Habitats et Espèces d'intérêt communautaire 2006-2007. Document 2. Guide Méthodologique. Muséum national d'histoire naturelle, Département Ecologie et gestion de la biodiversité, UMS 2699 Inventaire et suivi de la biodiversité. Document téléchargeable sur le site de l'INPN. <http://inpn.mnhn.fr>. 149 pp.

CONSERVATOIRE BOTANIQUE NATIONAL DE BAILLEUL, 2021. Liste des plantes vasculaires (Ptéridophytes et Spermatophytes) citées dans les Hauts-de-France (02, 59, 60, 62, 80) et en Normandie orientale (27, 76). Référentiel taxonomique et référentiel des statuts. Version 3.2b. DIGITALE (Système d'information floristique et phytosociologique) [Serveur]. Bailleul : Conservatoire botanique national de Bailleul, 1994-2021 (date d'extraction : 15/06/2021).

DUHAMEL F., FARVACQUES C., BLONDEL C., DELPLANQUE S., CATTEAU E., GELEZ W., FRANCOIS R., PREY T., CHOLET J., BUCHET J. & MASSARD O., 2017. Guide des végétations littorales du nord-ouest de la France. Centre régional de phytosociologie agréé Conservatoire botanique national de Bailleul, pp. 1-704. Bailleul.

DUMONT Q. (COORD.), WATTERLOT A., BUCHET J., TOUSSAINT B. & HAUGUEL J.-C., 2020. Plantes exotiques envahissantes des Hauts-de-France : 34 fiches de reconnaissance et d'aide à la gestion. Centre régional de phytosociologie agréé Conservatoire botanique national de Bailleul, 156 p.

DURIN L., FRANCK J. & GEHU J.-M., 1991. Flore illustrée de la région Nord-Pas-de-Calais et des territoires voisins pour la détermination aisée et scientifique des plantes sauvages. *Centre Régional de Phytosociologie – Bailleul*, 323 p.

JULVE P., 1998. Baseflor. Index botanique, écologique et chorologique de la Flore de France. Version [date de la version utilisée]. Programme Catminat. Version 26/11/2021. <<https://www.tela-botanica.org/projets/phytosociologie/portee-documents/>>.

LAMBINON J., DELVOSALLE I. & DUVIGNEAUD J., 2004. Nouvelle Flore de la Belgique, du Grand-Duché de Luxembourg, du Nord de la France et des régions voisines (Ptéridophytes et Spermatophytes). 5^{ème} éd. *Jardin botanique national de Belgique*. 1167 p.

LOUVEL J., GAUDILLAT V. & PONCET L., 2013. EUNIS, European Nature Information System, Système d'information européen sur la nature. Classification des habitats. Traduction française. Habitats terrestres et d'eau douce. MNHN-DIREV-SPN, MEDDE, Paris, 289 p.

MULLER S. (coord.) 2004. Plantes invasives en France. Museum national d'Histoire Naturelle, Paris, 168 p. (Patrimoines naturels, 62).

TISON J.-M. et DE FOUCOULT B., 2014. *Flora gallica : flore de France*. Biotope.

TOUSSAINT B., HAUGUEL J.-C. (coord.), 2019. Inventaire de la flore vasculaire des Hauts-de-France (Ptéridophytes et Spermatophytes) : raretés, protections, menaces et statuts. Version n°1c / mai 2019. Conservatoire botanique national de Bailleul, avec la collaboration du Collectif botanique des Hauts-de-France. 41 p.

TOUSSAINT B., HAUGUEL J.-C. (coord.), 2019. Liste rouge des espèces menacées en Hauts-de-France : Flore vasculaire et bryophytes. Conservatoire botanique national de Bailleul. Brochure éditée avec le soutien de l'Union européenne, de l'État (DREAL Hauts-de-France), du Conseil régional des Hauts-de-France et des Conseils départementaux de l'Aisne, du Nord, de l'Oise, du Pas-de-Calais et de la Somme, 36 p.

TOUSSAINT B., MERCIER D., BEDOUET F., HENDOUX F. & DUHAMEL F., 2008. Flore de la Flandre française. *Centre régional de phytosociologie agréé Conservatoire botanique national de Bailleul – Bailleul*, 556p.

UICN France, FCBN, AFB & MNHN, 2018. La Liste rouge des espèces menacées en France – Chapitre Flore vasculaire de France métropolitaine. Paris, France.

8.3. Bibliographie liée à l'expertise « Zones humides »

AFES (Association française pour l'étude du sol), 2008 – Référentiel Pédologique 2008, BAIZE, D., GIRARD, M.C. (coord.), Editions Quae, Versailles. 432 p.

BAIZE D., JABIOL B., 2011 – Guide pour la description des sols. Nouvelle édition. Quae éditions. 448 p.

BAIZE D., DUCOMMUN Ch., 2014 – Reconnaître les sols de zones humides. Étude et Gestion des sols, Vol 21, pp. 85-101.

BERTHIER L., CHAPLOT V., DUTIN G., JAFFREZIC A., LEMERCIER B., RACAPE A. et WALTER C., 2014 – Diagnostic in situ de la réduction du fer dans les sols par l'utilisation d'un test de terrain colorimétrique. Etude et Gestion des Sols. Vol 21, 1, pp. 51-59.

FOURRIER H., DETRICHE S., DOUAY F., 20 – Référentiel Régional Pédologique du Nord Pas de Calais

MEDDE, GIS Sol. 2013. Guide pour l'identification et la délimitation des sols de zones humides. Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie, Groupement d'Interêt Scientifique Sol, 63 pages.

STERCKEMAN T., 2002 – Référentiel pédo-géochimique du Nord-Pas de Calais. Rapport final. 130p.



SIEGE – AGENCE NORD

📍 **ADRESSE**
1 rue des fonds hanons
59144 JENLAIN

☎ **TELEPHONE**
03.59.38.22.58
06.28.93.32.17

✉ **info@rainette-ecologie.com**

AGENCE GRAND EST

📍 **ADRESSE**
110 rue des quatre éléments
54340 POMPEY

☎ **TELEPHONE**
03.83.51.20.38
07.50.56.27.40

✉ **m.delattre@rainette-ecologie.com**

AGENCE NORD OUEST

📍 **ADRESSE**
App. 4, 5bis rue de la cavée
14210 ESQUAY-NOTRE-DAME

☎ **TELEPHONE**
02.31.29.85.34
06.08.73.27.98

✉ **c.villedieu@rainette-ecologie.com**

AGENCE ILE-DE-FRANCE

📍 **ADRESSE**
10 route de saint-leu
77240 CESSON

☎ **TELEPHONE**
07.72.51.53.92

✉ **s.guingand@rainette-ecologie.com**

ANTENNE OISE

📍 **ADRESSE**
18 rue d'allonne
60000 BEAUVAIS

☎ **TELEPHONE**
03.59.38.22.58
06.28.93.32.17

✉ **info@rainette-ecologie.com**

ANTENNE SUD OUEST

📍 **ADRESSE**
Espace de coworking
31500 TOULOUSE

☎ **TELEPHONE**
07.50.59.83.47

✉ **r.berrabah@rainette-ecologie.com**