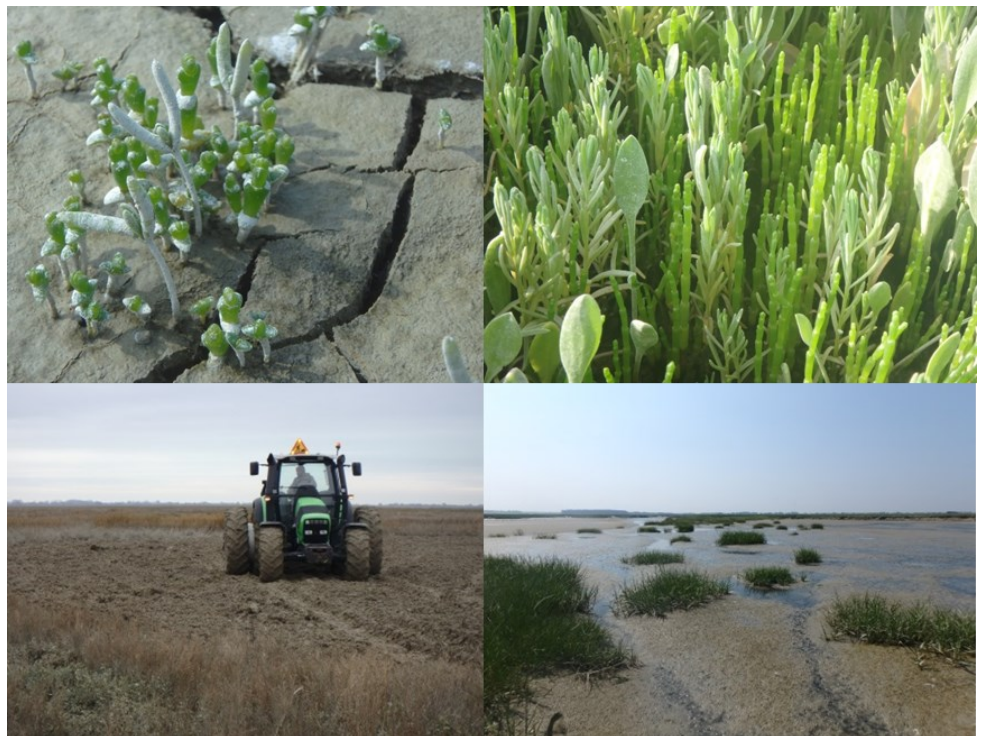




Groupe d'Etude des Milieux Estuariens et Littoraux

115, quai Jeanne d'Arc
80230 Saint-Valery-sur-Somme
03-22-26-85-25
www.gemel.org

Projet LiPGLOSS : « Influence du Labour sur le Potentiel de GerminatiON de la Salicorne et de la Soude en baie de Somme »



Rapport du GEMEL n°19-020
20 novembre 2019

Elodie OLLIVIER, Stéphanie DORTHE,
Jean-Denis TALLEUX, Céline ROLET

Travail réalisé avec le
soutien financier de :



Remerciements

Ce projet bénéficie du soutien financier de la région Hauts de France et de l'Europe. L'Europe s'engage en France avec le FEAMP. Le Fonds Européen pour les Affaires Maritimes et la Pêche (FEAMP) intervient dans le cadre de la politique commune de la pêche et de la politique maritime intégrée. Pour la période 2014-2020, la France dispose d'une enveloppe de 588 millions d'euros au titre du FEAMP.

Je tiens à remercier Muriel Sicard, animatrice territoriale de l'ADDAM (Association pour le Développement Durable des Activités Maritimes) en charge du GALPA (Groupe d'Action Locale Pêche et Aquaculture) « 3 estuaires » pour son aide, ses conseils et sa disponibilité tout au long de la réalisation de ce projet.

Je tiens également à remercier l'ensemble des pêcheurs à pied que j'ai pu rencontrer et avec lesquels j'ai pu échanger, et particulièrement Renée Michon, pour sa bonne humeur, son aide et ses précieux conseils.

Enfin, je souhaite particulièrement remercier mes collègues du GEMEL Céline Rolet, Stéphanie Dorthé, Jean-Denis Talleux, Mélanie Rocroy, Jean-Claude Darras, Eric Goberville, Thierry Ruellet et tous les autres pour leur aide avisée tout au long de ce projet, leur bonne humeur au laboratoire comme sur le terrain et leur soutien.

Montage du projet : Elodie OLLIVIER (Chargée d'études), Stéphanie DORTHE (Assistante de direction), Thierry RUELLET (Ex-directeur du GEMEL), Jean-Denis TALLEUX (Assistant ingénieur)

Prélèvements sur le terrain : Elodie OLLIVIER (Chargée d'études), Jean-Denis TALLEUX (Assistant ingénieur), Victor ONGHENA (Stagiaire).

Analyses au laboratoire : Elodie OLLIVIER (Chargée d'études), Jean-Denis TALLEUX (Assistant ingénieur), Victor ONGHENA (Stagiaire)

Analyses des données : Elodie OLLIVIER

Rédaction : Elodie OLLIVIER

Relecture : Céline ROLET (Directrice du GEMEL)

Citation : Ollivier, E., Dorthé, S., Talleux, J.D., Rolet, C. (2019). Influence des moyens de lutte mis en place contre une espèce invasive, *Spartina anglica*, sur deux espèces locales de la baie de Somme—Projet LiPGLOSS « influence du Labour sur le Potentiel de GerminatiOn de la Salicorne et de la Soude en baie de Somme ». Rapport du GEMEL n°19-020 réalisé pour la Région Hauts-de-France et l'Europe (FEAMP): 197p.

Liste des figures	1
Liste des tableaux	5
Liste des annexes	6
Contexte	7
1- Etat des connaissances	8
1-1- La baie de Somme	8
1-2- La végétation estuarienne	9
1-2-1- La salicorne	11
1-2-1-1- Germination	13
1-2-1-2- Croissance	14
1-2-1-3- Floraison et fructification	15
1-2-1-4- Utilisations	16
1-2-1-5- Exploitation	17
1-2-2- La soude maritime	17
1-2-2-1- Germination	18
1-2-2-2- Croissance	19
1-2-2-3- Floraison et fructification	19
1-2-2-4- Utilisations	19
1-2-2-5- Exploitation	20
1-3- Les ramasseurs de végétaux marins en baie de Somme	20
1-4- La spartine anglaise, une espèce invasive	24
1-4-1- Historique et évolution	24
1-4-2- Arrivée de la Spartine anglaise en baie de Somme	26
1-4-3- Biologie de l'espèce	28
1-4-4- Impacts de la spartine anglaise sur l'environnement	30
1-4-5- Impacts de la spartine anglaise sur l'économie et les activités humaines	30
1-5- Les moyens de lutte contre la spartine anglaise testés en France et dans le monde	31
1-5-1- Méthodes mécaniques ou manuelles	31
1-5-2- Méthodes biologiques	33
1-5-3- Méthodes chimiques	34
1-6- Les moyens de gestion testés en baie de Somme	35
1-6-1- Travaux réalisés en baie de Somme dans le cadre de la lutte contre la spartine anglaise	35
1-6-1-1- Expérimentations réalisées par le SMBDSGLP	35
1-6-1-2- Expérimentations réalisées par le GEMEL	36
1-6-1-3- Travaux réalisés par l'Association des Ramasseurs de Salicornes de la baie de Somme et encadrés par le GEMEL	38
1-6-1-4- Travaux réalisés par les communes	39

2- Matériel et méthodes	40
2-1- Données météorologiques	40
2-2- Présentation des sites expérimentaux	40
2-3- Caractérisation des sites expérimentaux	42
2-3-1- Granulométrie et teneur en matière organique	42
2-4- Expérimentations sur le terrain	44
2-4-1- Mesures de croissance de la salicorne et de la soude	44
2-4-2- Historique des labours : Influence de la date et de la fréquence du travail du sol sur la diversité spécifique, le recouvrement spécifique et la croissance des végétaux	46
2-4-3- Labours expérimentaux	49
2-4-3-2- Influence du labour sur l'enfouissement des graines	52
2-4-4- Expérimentation d'enfouissement de graines	53
2-5- Expérimentations au laboratoire	56
2-5-1- Influence de la salinité sur la germination de la salicorne et de la soude	56
2-5-2- Influence de la profondeur d'enfouissement des graines de salicorne et de soude sur leur germination	57
3- Résultats	60
3-1- Données météorologiques	60
3-2- Caractérisation des sites	70
3-2-1- Granulométrie et teneur en matière organique	70
3-3- Expérimentations sur le terrain	74
3-3-1- Mesures de croissance de la salicorne et de la soude	74
3-3-2- Influence du labour sur la croissance, la densité et la diversité floristique	79
3-3-3- Labours expérimentaux	86
3-3-3-1- Relevés floristiques	86
3-3-4- Influence de la profondeur d'enfouissement des graines de salicorne et de soude sur leur germination	105
3-4- Expérimentations au laboratoire	112
3-4-1- Influence de la salinité sur la germination de la salicorne et de la soude	112
3-4-2- Influence de la profondeur d'enfouissement des graines de salicorne et de soude sur leur germination	115
4- Discussion	117
5- Conclusion	135
Bibliographie	137
ANNEXES	146

Liste des figures

Figure 1 : Estuaire de la baie de Somme (baiedesomme.org)	9
Figure 2 : Schéma de l'étagement de la végétation en milieu estuarien en fonction du niveau des marées (in Bournérias, 1995) - a : niveau moyen à mi-marée, b : niveau supérieur moyen des marées de morte eau, c : niveau supérieur des plus faibles marées de vive eau, d : niveau des marées d'équinoxe	10
Figure 3 : Différents types de segments fertiles chez <i>Salicornia</i> (Ball & Tutin, 1959).	11
Figure 4 : <i>Salicornia fragilis</i> (Lahondère, 2004)	13
Figure 5 : Stades de germination de la salicorne (Duponchelle, 2012)	14
Figure 6 : Floraison de <i>Salicornia fragilis</i>	16
Figure 7 : Illustration de la soude maritime <i>Suaeda maritima</i> (L.) Dum. (Syn. <i>Chenopodium maritimum</i> L.) - Flora Batava (Vol 5)	17
Figure 8 : Stades de germination de la soude maritime	18
Figure 9 : Cartographie des concessions de végétaux marins accordées pour la période 2007-2017 en baie de Somme	21
Figure 10 : Cartographie des concessions de végétaux marins accordées pour la période 2017-2027 en baie de Somme	22
Figure 11 : Schéma synthétique de la lignée <i>Spartina</i> en France et en Angleterre (Ainouche et al., 2003)	25
Figure 12 : Répartition de <i>Spartina anglica</i> en France et en Europe (Manceau, 2017)	26
Figure 13 : Progression de <i>Spartina anglica</i> le long des côtes françaises depuis son introduction en 1906 dans la Baie des Veys (Lefeuvre et Rauss, 2014)	27
Figure 14 : Illustration de <i>Spartina anglica</i> (Lush et al., 2014) et floraison de <i>Spartina anglica</i> en baie de Somme	28
Figure 15 : Clones de <i>Spartina anglica</i> en baie de Somme	29
Figure 16 : Localisation des travaux réalisés par le GEMEL en 1998 dans le cadre de la lutte contre <i>Spartina anglica</i>	37
Figure 17 : Localisation des travaux réalisés par le GEMEL en 1999 dans le cadre de la lutte contre <i>Spartina anglica</i>	37
Figure 18 : Superposition des zones travaillées de 1998 à 2019 dans le cadre de la lutte contre <i>Spartina anglica</i>	38
Figure 19 : Localisation des parcelles expérimentales du projet LIPGLOSS en baie de Somme	40
Figure 20 : Localisation de la parcelle expérimentale du Crotoy	41
Figure 21 : Localisation de la parcelle expérimentale du Hourdel	41
Figure 22 : Analyses granulométriques réalisées au laboratoire	42
Figure 23 : Tamiseuse avec colonnes AFNOR et pesée des sédiments après tamisage	43
Figure 24 : Mesures de la teneur en matière organique au laboratoire	43
Figure 25 : Labours réalisés dans le cadre de la lutte contre la spartine anglaise sur la zone de concession entre Le Crotoy et Saint Valery sur Somme en janvier 2019	45
Figure 26 : Plants de salicornes et de soude maritime prélevés sur le terrain	45
Figure 27 : Mesure des jeunes plants prélevés au laboratoire	46
Figure 28 : Jeunes plants de salicornes et de soude maritime	46
Figure 29 : Exemple d'un relevé floristique réalisé à l'aide d'un quadrat de 0,25m ²	47
Figure 30 : Localisation des zones labourées entre 1998 et 2019 et relevés floristiques effectués sur les concessions de culture marine entre Le Crotoy et Saint Valery Sur Somme	48
Figure 31 : Localisation des zones labourées entre 1998 et 2019 et relevés floristiques effectués sur les concessions de culture marine entre Le Hourdel et Le Cap Hornu	49

Figure 32 : Labours expérimentaux réalisés au niveau du site du Crotoy	50
Figure 33 : Plan d'expérimentation des labours expérimentaux sur le site du Crotoy	50
Figure 34 : Labours expérimentaux réalisés au niveau du site du Hourdel	51
Figure 35 : Plan d'expérimentation des labours expérimentaux sur le site du Hourdel	51
Figure 36 : Quadrat utilisé pour le relevé floristique avant et après prélèvement des végétaux	52
Figure 37 : Photographies des carottages réalisés sur le terrain	53
Figure 38 : Préparation des sacs contenant du sédiment et des graines de soude maritime et de salicorne	54
Figure 39 : Fixation des sacs aux piquets en métal à 3 hauteurs différentes (2cm, 15 cm, 30 cm)	54
Figure 40 : Réalisation d'une tranchée et mise en place des piquets et sacs de graines à 3 profondeurs différentes (subsurface, 15 cm, 30 cm)	55
Figure 41 : Prélèvement des piquets enterrés et détermination des stades de germination des graines contenues dans les sacs au laboratoire	55
Figure 42 : Plan d'expérimentation de l'expérimentation influence de la salinité sur la germination des graines de salicorne et de soude maritime	56
Figure 43 : Germination des graines en microplaques, graines de salicorne (photographie centrale) et de soude maritime (photographie de droite)	57
Figure 44 : Plan d'expérimentation de l'expérimentation influence de la profondeur d'enfouissement des graines sur la germination de la salicorne et de la soude	58
Figure 45 : Préparation de l'expérimentation : remplissage des pots avec du sédiment et enfouissement des graines à différentes profondeurs	58
Figure 46 : Suivi de l'évolution de la germination et de la croissance des graines de salicorne et de soude maritime	59
Figure 47 : Températures minimales et maximales (°C) et précipitations (mm) mesurées en baie de Somme en décembre 2018	61
Figure 48 : Durée d'ensoleillement (heures) et radiations globales instantanées (W/m ²) mesurées en baie de Somme en décembre 2018 (données infoclimat.fr - station d'Abbeville)	61
Figure 49 : Températures minimales et maximales (°C) et précipitations (mm) mesurées en baie de Somme en janvier 2019	62
Figure 50 : Durée d'ensoleillement (heures) et radiations globales instantanées (W/m ²) mesurées en baie de Somme en janvier 2019 (données infoclimat.fr - station d'Abbeville)	62
Figure 51 : Températures minimales et maximales (°C) et précipitations (mm) mesurées en baie de Somme en février 2019	63
Figure 52 : Durée d'ensoleillement (heures) et radiations globales instantanées (W/m ²) mesurées en baie de Somme en février 2019 (données infoclimat.fr - station d'Abbeville)	64
Figure 53 : Températures minimales et maximales (°C) et précipitations (mm) mesurées en baie de Somme en mars 2019	65
Figure 54 : Durée d'ensoleillement (heures) et radiations globales instantanées (W/m ²) mesurées en baie de Somme en mars 2019 (données infoclimat.fr - station d'Abbeville)	65
Figure 55 : Températures minimales et maximales (°C) et précipitations (mm) mesurées en baie de Somme en avril 2019	66
Figure 56 : Durée d'ensoleillement (heures) et radiations globales instantanées (W/m ²) mesurées en baie de Somme en avril 2019 (données infoclimat.fr - station d'Abbeville)	66
Figure 57 : Températures minimales et maximales (°C) et précipitations (mm) mesurées en baie de Somme en mai 2019	67
Figure 58 : Durée d'ensoleillement (heures) et radiations globales instantanées (W/m ²) mesurées en baie de Somme en mai 2019 (données infoclimat.fr - station d'Abbeville)	68
Figure 59 : Températures minimales et maximales (°C) et précipitations (mm) mesurées en baie de Somme en juin 2019	69
Figure 60 : Durée d'ensoleillement (heures) et radiations globales instantanées (W/m ²) mesurées en baie de Somme en juin 2019 (données infoclimat.fr - station d'Abbeville)	69

Figure 61 : Composition granulométrique du site du Crotoy. En bleu, le pourcentage par tamis, en noir, le pourcentage cumulé	70
Figure 62 : Composition granulométrique du site du Hourdel. En bleu, le pourcentage par tamis, en noir, le pourcentage cumulé	72
Figure 63 : Comparaison de la croissance de la salicorne entre les zones labourées et non labourées sur le site du Crotoy	74
Figure 64 : Comparaison de la croissance de la soude entre les zones labourées et non labourées sur le site du Crotoy	75
Figure 65 : Comparaison de la croissance de la salicorne entre les sites du Hourdel et du Crotoy sur des zones non labourées	76
Figure 66 : Comparaison de la croissance de la soude entre les sites du Hourdel et du Crotoy sur des zones non labourées	77
Figure 67 : Localisation des zones labourées entre 1998 et 2019 et relevés floristiques effectués sur les concessions de culture marine entre Le Crotoy et Saint Valery Sur Somme	79
Figure 68 : Comparaison de la diversité spécifique entre des zones ayant été soumises à différentes fréquences de travail du sol en baie de Somme nord	80
Figure 69 : Localisation des zones labourées entre 1998 et 2019 et relevés floristiques effectués sur les concessions de culture marine entre Le Hourdel et Saint Valery Sur Somme	82
Figure 70 : Comparaison de la diversité spécifique entre des zones ayant été soumises à différentes fréquences de travail du sol en baie de Somme sud	82
Figure 71 : Comparaison du nombre d'individus par espèce en fonction des traitements appliqués et de leurs dates de réalisation sur le site du Crotoy, début avril 2019	86
Figure 72 : Comparaison du nombre d'individus par espèce en fonction des traitements appliqués et de leurs dates de réalisation sur le site du Crotoy, mi-avril 2019	87
Figure 73 : Comparaison du nombre d'individus par espèce en fonction des traitements appliqués et de leurs dates de réalisation sur le site du Crotoy, fin-mai 2019	88
Figure 74 : Comparaison du nombre d'individus par espèce en fonction des traitements appliqués et de leurs dates de réalisation sur le site du Crotoy, mi-juin 2019	89
Figure 75 : Comparaison du nombre d'individus par espèce en fonction des traitements appliqués et de leurs dates de réalisation sur le site du Crotoy, pour l'ensemble des relevés réalisés d'avril à fin juin 2019	90
Figure 76 : Comparaison de la taille moyenne des salicornes en fonction des traitements appliqués et de leurs dates de réalisation sur le site du Crotoy, aux différentes dates de prélèvement	91
Figure 77 : Comparaison de la taille moyenne de la soude en fonction des traitements appliqués et de leurs dates de réalisation sur le site du Crotoy, aux différentes dates de prélèvement	92
Figure 78 : Comparaison du nombre d'individus par espèce en fonction des traitements appliqués et de leurs dates de réalisation sur le site du Hourdel, début avril 2019	93
Figure 79 : Comparaison du nombre d'individus par espèce en fonction des traitements appliqués et de leurs dates de réalisation sur le site du Hourdel, mi-avril 2019	94
Figure 80 : Comparaison du nombre d'individus par espèce en fonction des traitements appliqués et de leurs dates de réalisation sur le site du Hourdel, fin mai 2019	95
Figure 81 : Comparaison du nombre d'individus par espèce en fonction des traitements appliqués et de leurs dates de réalisation sur le site du Hourdel, mi-juin 2019	96
Figure 82 : Comparaison du nombre d'individus par espèce en fonction des traitements appliqués et de leurs dates de réalisation sur le site du Hourdel, pour l'ensemble des relevés réalisés d'avril à fin juin 2019	97
Figure 83 : Comparaison de la taille moyenne des salicornes en fonction des traitements appliqués et de leurs dates de réalisation sur le site du Hourdel, aux différentes dates de prélèvement	99
Figure 84 : Comparaison de la taille moyenne de la soude en fonction des traitements appliqués et de leurs dates de réalisation sur le site du Hourdel, aux différentes dates de prélèvement	100

<i>Figure 85 : Comparaison de la répartition des graines de salicorne dans la carotte de sédiment en fonction des traitements appliqués et de leurs dates de réalisation sur le site du Crotoy en mai 2019</i>	101
<i>Figure 86 : Comparaison de la répartition des graines de soude dans la carotte de sédiment en fonction des traitements appliqués et de leurs dates de réalisation sur le site du Crotoy en mai 2019</i>	102
<i>Figure 87 : Comparaison de la répartition des graines de salicorne dans la carotte de sédiment en fonction des traitements appliqués et de leurs dates de réalisation sur le site du Hourdel en mai 2019</i>	103
<i>Figure 88 : Comparaison de la répartition des graines de soude dans la carotte de sédiment en fonction des traitements appliqués et de leurs dates de réalisation sur le site du Hourdel en mai 2019</i>	104
<i>Figure 89 : Suivi de l'évolution du pourcentage de germination des graines de salicorne et de soude enfouies à 5 cm de profondeur au cours du temps, sur le site du Crotoy</i>	105
<i>Figure 90 : Comparaison du pourcentage de germination des graines de salicorne en fonction de la profondeur d'enfouissement sur le site du Crotoy</i>	106
<i>Figure 91 : Comparaison du pourcentage de germination des graines de soude en fonction de la profondeur d'enfouissement sur le site du Crotoy</i>	107
<i>Figure 92 : Suivi de l'évolution du pourcentage de germination des graines de salicorne et de soude enfouies à 5 cm de profondeur au cours du temps, sur le site du Hourdel</i>	109
<i>Figure 93 : Comparaison du pourcentage de germination des graines de salicorne en fonction de la profondeur d'enfouissement sur le site du Hourdel</i>	110
<i>Figure 94 : Comparaison du pourcentage de germination des graines de soude en fonction de la profondeur d'enfouissement sur le site du Hourdel</i>	111
<i>Figure 95 : Influence de la salinité (exprimée en PSU) sur la germination de la salicorne</i>	113
<i>Figure 96 : Influence de la salinité (exprimée en PSU) sur la germination de la soude</i>	114
<i>Figure 97 : Influence de la profondeur d'enfouissement des graines (1 cm / 5 cm / 10 cm) sur la germination de la soude au laboratoire</i>	115

Liste des tableaux

<i>Tableau 1 : Synthèse sur la classification des espèces du genre Salicornia de la zone atlantique Française. (Duponchelle, 2012).....</i>	<i>12</i>
<i>Tableau 2 : Composition granulométrique du sédiment du site du Crotoy.....</i>	<i>71</i>
<i>Tableau 3 : Composition granulométrique du sédiment du site du Hourdel.....</i>	<i>73</i>
<i>Tableau 4 : Composition floristique des quadrats réalisés aux différents points de prélèvement en baie de Somme nord.....</i>	<i>80</i>
<i>Tableau 5 : Composition floristique des quadrats réalisés aux différents points de prélèvement en baie de Somme sud.....</i>	<i>83</i>
<i>Tableau 6 : Tableau récapitulatif des différences significatives observées entre la composition floristique et les travaux effectués aux points de prélèvements réalisés en baie de Somme Sud.....</i>	<i>84</i>
<i>Tableau 7 : Tableau récapitulatif des différences significatives observées entre le nombre de plants de salicorne et de soude et la période de réalisation des traitements.....</i>	<i>91</i>
<i>Tableau 8 : Tableau récapitulatif des différences significatives observées entre le nombre de plants de salicorne et de soude et les traitements appliqués.....</i>	<i>98</i>
<i>Tableau 9 : Tableau récapitulatif des différences significatives observées entre le nombre de plants de salicorne, de soude et de spartine et la période de réalisation des traitements.....</i>	<i>99</i>

Liste des annexes

<i>Annexe 1 : Contrat de prestations de labour sur les zones de la concession de l'Association des Ramasseurs de Salicornes de la Baie de Somme.....</i>	<i>147</i>
<i>Annexe 2 : Historique des travaux de labours réalisés au sein des concessions de végétaux marins dans le cadre de la lutte contre la spartine anglaise de 2006 à 2019.....</i>	<i>153</i>
<i>Annexe 3 : Photographies des relevés floristiques réalisés sur les parcelles expérimentales du Crotoy et du Hourdel.....</i>	<i>160</i>
<i>Annexe 4 : Fiches terrain des relevés floristiques réalisés dans les concessions de végétaux marins.....</i>	<i>173</i>

Contexte

La cueillette des végétaux marins en baie de Somme est une activité ancestrale qui a aujourd'hui une place importante dans l'économie locale et le patrimoine culturel de la baie de Somme. Depuis 2001, les pêcheurs sont réunis en association : « l'association des ramasseurs de salicorne de la baie de Somme » pour organiser des travaux d'entretien contre une espèce invasive, la spartine anglaise.

Spartina anglica est arrivée en baie de Somme dans les années 1920 et ne cesse depuis de se développer et de modifier l'écosystème. Cette espèce se développe également au niveau des concessions attribuées aux ramasseurs de végétaux marins au détriment des espèces locales comme la salicorne et la soude maritime.

Afin de lutter contre la prolifération de cette espèce invasive, des travaux de labours sont effectués tous les ans par « l'association des ramasseurs de salicorne de la baie de Somme » et ces travaux sont suivis par le GEMEL (Groupe d'Etude des Milieux Estuariens et Littoraux).

Le projet **LIPGIOSS**, « Influence du **L**abour sur le **P**otentiel de **G**erminati**O**n de la **S**alicorne et de la **S**oude en baie de Somme » a vu le jour suite à l'appel à projet DLAL "Développement Local mené par les Acteurs Locaux" de l'ADDAM, l'Association pour le Développement Durable des Activités Maritimes dans les trois estuaires de la Canche, de l'Authie et de la Somme qui anime et gère la stratégie du GALPA « 3 estuaires ». Il est financé par le FEAMP (Fond Européen pour les Affaires Maritimes et la Pêche).

Le projet **LIPGIOSS** a pour objectif de mieux comprendre l'impact des labours réalisés en tant que moyen de lutte contre la propagation de la spartine anglaise sur la croissance à court et moyen terme des végétaux marins comme la salicorne et la soude. A terme, il doit permettre de donner des préconisations quant à la profondeur et l'époque du labour pour une croissance optimale des végétaux marins exploités.

Les questions soulevées par ce projet sont les suivantes :

- 1- Quel est l'effet du labour (utilisé en tant que moyen de lutte contre la propagation de la spartine anglaise en baie de Somme) sur les principaux végétaux marins exploités tels que la soude et la salicorne ?
- 2- Si des effets négatifs sur les espèces végétales locales existent, comment en limiter les effets (date de réalisation des travaux, fréquence, profondeur de labour, ...) ?

1- Etat des connaissances

1-1- La baie de Somme

Située dans la région des Hauts-de-France et délimitée au nord par la pointe de Saint-Quentin-en-Tourmont et au sud par la pointe du Hourdel, la baie de Somme couvre une surface de 72 km² (*Figure 1*). L'estuaire de la Somme, se trouve dans le Parc Naturel Marin (PNM) des estuaires picards et de la mer d'Opale. Cette aire de protection des milieux naturels marins créée en 2012 couvre 2 300 km² dont 118 km de côtes, du Tréport (Seine-Maritime – 76) à Ambleteuse (Pas-de-Calais – 62).

Ses principaux objectifs sont la connaissance et la protection des écosystèmes marins, ainsi que la mise en place d'un équilibre entre les activités anthropiques et la protection de l'environnement. Les activités anthropiques développées dans l'estuaire sont donc soumises à une autorisation de la préfecture, après consultation de l'ensemble des services de l'Etat et des collectivités territoriales concernées.

L'estuaire de la Somme est également classé Natura 2000 en tant que ZSC (Zone Spéciale de Conservation) : site FR2200346 « Estuaires et littoral picards » et ZPS (Zone de Protection Spéciale) : site FR2210068 « Estuaires picards : baie de Somme et d'Authie ». Ces sites naturels sont désignés pour la rareté, la fragilité ou le caractère remarquable des espèces (végétales et animales), ou les habitats naturels qu'ils abritent (Rocroy, 2016).

La baie de Somme est soumise à un régime macrotidal (marnage de 9-10 m et vitesse des courants de 2m.s⁻¹) où le flot dominant est le jusant, ce qui explique en grande partie le colmatage de la baie de Somme. A chaque marée, une quantité importante de sédiment reste piégée, principalement sur la rive sud, du fait de la morphologie de la baie et de la faiblesse des courants de jusant (Granger, 2003). Le débit moyen de la Somme est de 34 m³.s⁻¹ et les fluctuations saisonnières sont très peu marquées.

Bien que les apports d'eau douce provenant de la Somme et de la Maye soient faibles, la salinité en entrée de baie au flot est de 30 pour mille en vive eau et de 25 pour mille en morte eau (12 pour mille au Crotoy), laissant supposée qu'une masse d'eau dessalée persiste en fond de baie (Granger, 2003).

L'embouchure de la Somme forme un estuaire de type « picard », caractérisé par une dynamique hydro-sédimentaire particulière, un rythme tidal semi-diurne, une tendance au comblement et une forte productivité biologique.

Depuis le milieu du 20^{ème} siècle, le musoir de la baie de Somme, situé à la pointe de Saint Quentin en Tourmont, ne s'érode plus du fait de l'accolement d'un important banc de sable. Cela s'accompagne d'une stabilisation au niveau du poulier du Hourdel et conduit à une réduction progressive de l'ouverture à la mer de la baie de Somme (Granger, 2003).

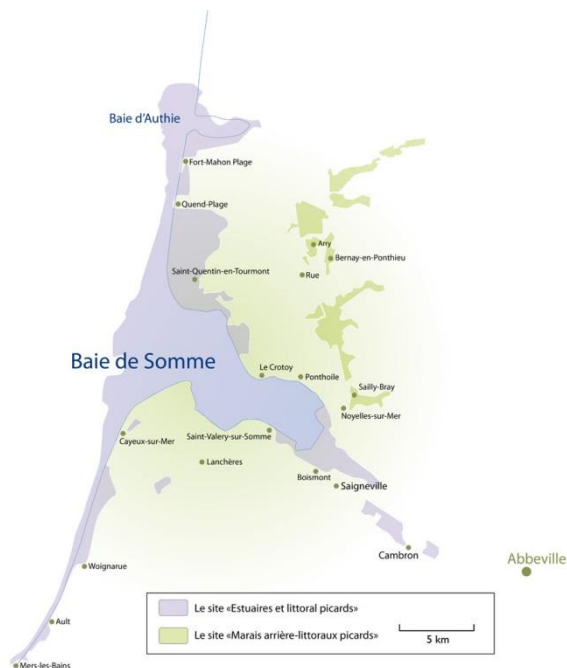


Figure 1 : Estuaire de la baie de Somme (baiedesomme.org)

1-2- La végétation estuarienne

Les estuaires sont des zones de transition entre les milieux marins et les milieux dulcicoles et sont donc soumis à la fois à l'influence marine (marées, vagues) et à l'influence dulcicole (flux d'eau douce, sédiments). Les apports d'eau douce et d'eau de mer sont à l'origine de fortes concentrations en nutriments dans la colonne d'eau et dans les sédiments, faisant des estuaires les habitats naturels parmi les plus productifs. Ces milieux ont aussi un rôle important dans la protection des rivages puisqu'ils permettent d'atténuer la puissance des vagues et de la houle à marée haute.

Au niveau topographique le plus bas, se situe la slikke, vasière de sédiments sablo-vaseux peu stabilisés, soumise aux immersions quotidiennes de la marée et colonisée par des espèces végétales pionnières. Cette zone est caractérisée par une faible diversité floristique mais possède de forts enjeux patrimoniaux car elle regroupe des habitats spécialisés, soumis à de fortes contraintes (salinité variable, cycles d'immersion/émersion,...).

Le schorre ou pré salé se situe à un niveau topographique supérieur et n'est immergé que lors des marées de vives eaux. Cette zone est caractérisée par une flore et une faune particulière, adaptées à cette frange étroite entre le milieu océanique et le milieu terrestre, par des sédiments plus stables et souvent compactés et des contraintes moindres sur les espèces.

La végétation du schorre et de la haute slikke est un facteur de sédimentation et de rehaussement de l'estuaire. L'installation d'espèces pionnières freine les courants de marées, provoque le dépôt des particules en suspension et entraîne le comblement progressif de l'estuaire.

La répartition spatiale de la flore estuarienne est contrôlée par différents facteurs :

- la salinité,
- la fréquence et la durée d'immersion,
- la nature du substrat,
- la topographie et la présence de micro-reliefs (chenaux...),
- la quantité de matière organique,
- la compétition interspécifique (particulièrement sur le haut schorre).

Ainsi, on peut observer un étagement de la végétation sur l'estran (**Figure 2**) :

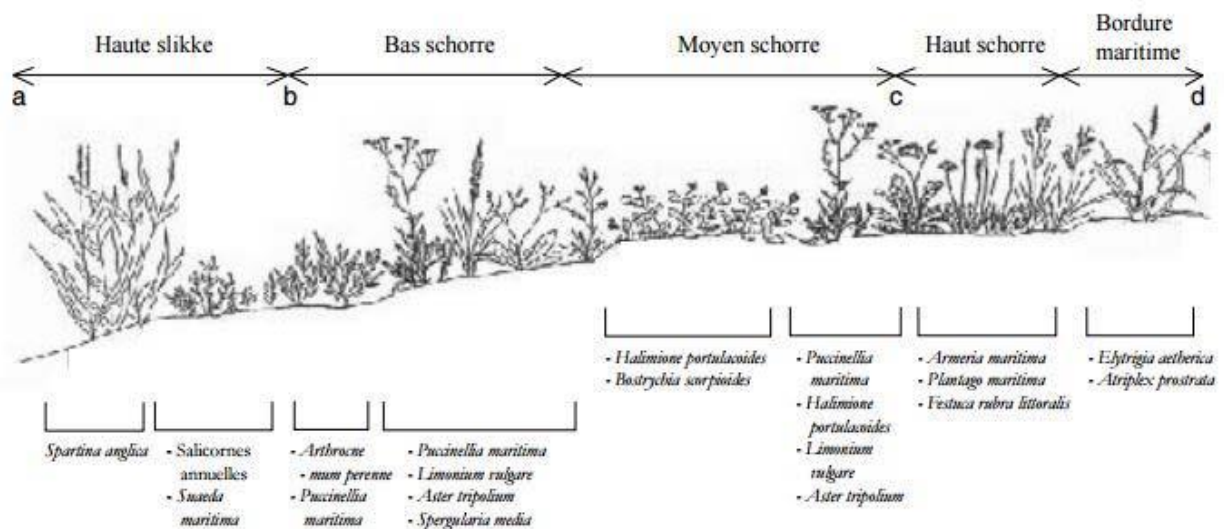


Figure 2 : Schéma de l'étagement de la végétation en milieu estuarien en fonction du niveau des marées (in Bournérias, 1995) - a : niveau moyen à mi-marée, b : niveau supérieur moyen des marées de morte eau, c : niveau supérieur des plus faibles marées de vive eau, d : niveau des marées d'équinoxe

- La slikke, dominée par une végétation pionnière composée de spartine et de salicornes annuelles.
- Le bas schorre, dominé par l'aster maritime, l'arroche hastée, la cochléaire officinale et la soude maritime.
- Le moyen schorre, dominé par la puccinellie maritime en association avec d'autres espèces herbacées s'il est entretenu par la fauche ou pâturé par les moutons ainsi que le lilas de mer et l'obione.
- Le haut schorre, dominé par le chiendent maritime, une espèce invasive en baie de Somme. On y trouve également l'armoise, le cakile et la fétuque rouge
- En fond de baie, là où l'influence marine se fait encore sentir, on retrouve la mauve et la betterave maritime.

Pour des raisons pratiques, cette étude se concentrera uniquement sur deux espèces récoltées par les pêcheurs à pied : la salicorne et la soude maritime, bien que l'aster maritime soit également une espèce récoltée et appréciée des consommateurs.

1-2-1- La salicorne

Les salicornes appartiennent à la famille des Chénopodiacées, elles peuvent être pérennes (genre *Sarcocornia*) ou annuelles (genre *Salicornia*) et présentent une grande diversité d'espèces.

Ces espèces présentent une forte plasticité phénotypique et morphologique (feuilles succulentes similaires, couleur et taille changeantes suivant les conditions environnementales, hybridation possible...) rendant l'identification difficile.

Les caractères phénotypiques habituellement utilisés par les botanistes pour la détermination de la flore ne sont donc pas adaptés à ces espèces et leur identification est donc réalisée selon certains caractères spécifiques à la salicorne : type, forme ou taille de l'inflorescence (Ball & Tutin, 1959) (**Figure 3**).

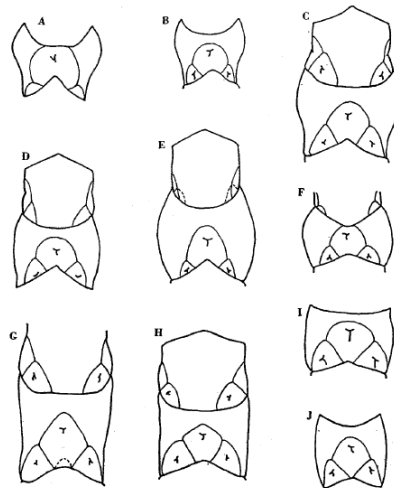


Figure 3 : Différents types de segments fertiles chez *Salicornia* (Ball & Tutin, 1959).

L'identification des salicornes est cependant limitée dans le temps, puisqu'en France la floraison a lieu entre mi-août et début novembre, suivant les espèces (Lahondère, 2004). Selon les botanistes, il existerait une trentaine d'espèces de salicornes (Chevalier, 1947) (**Tableau 1**).

Suivant les espèces, les parties aériennes peuvent être peu ou pas ramifiées. Les salicornes possèdent une tige centrale entourée d'articles que forment les feuilles opposées et soudées deux à deux. La longueur des ramifications est variable selon les espèces, ainsi que la couleur qui change selon les espèces et le stade de développement (Lahondère, 2004).

La salicorne est une plante euhalophyte, la présence de sel est nécessaire au déroulement de sa croissance et de son cycle de vie. Cependant, sa germination nécessite une eau peu salée à douce (Grouzis *et al.* 1976 ; Ungar, 1977 ; Keiffer & Ungar, 1997). Son développement est ensuite influencé par les différents facteurs biotiques et abiotiques des milieux dans lesquels elle se développe.

Les salicornes sont principalement retrouvées dans des milieux tels que les vasières, prés et marais salés. Elles sont présentes au niveau de la slikke mais aussi du schorre, recouvert uniquement lors des marées de vives eaux. Bien que nombreuses, les espèces de salicornes vont se répartir en fonction des différents habitats.

Tableau 1 : Synthèse sur la classification des espèces du genre *Salicornia* de la zone atlantique Française. (Duponchelle, 2012)

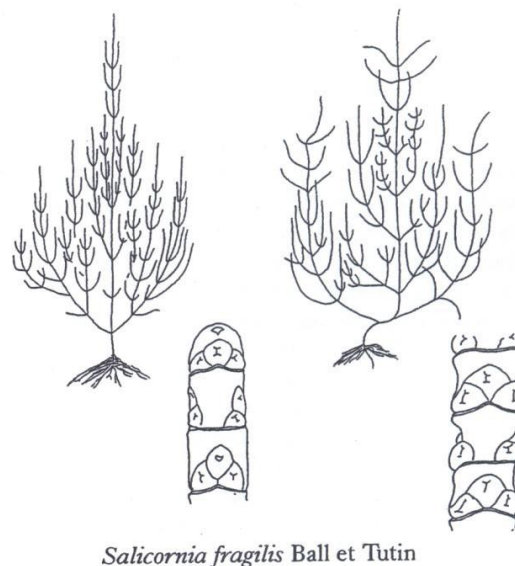
Genre	Ploïdie	Espèces	
		Lahondère Lahondère, C., 2004	Nouvelle flore de Belgique Lambinon, J. <i>et al.</i> , 2004
<i>Salicornia</i>	Diploïde	<i>S. disarticulata</i> (Moss)	<i>S. pusilla</i> (Woods)
		<i>S. x marshallii</i> (Dalby)	
	Triploïde	<i>S. fragilis</i> (Ball et Tutin)	<i>S. Procumbens</i> (Smith)
		<i>S. dolichostachia</i> (Moss)	
		<i>S. emerici</i> (Duval-Jouve)	<i>S. emerici</i> (Duval-Jouve)
	Diploïdes	<i>S. obscura</i> (Ball et Tutin)	<i>S. obscura</i>
		<i>S. ramosissima</i> (Woods)	<i>S. europaea</i> Huiskes, A. L. <i>et al.</i> ,
<i>S. brachystachia</i> (König)			

Sur le littoral picard, seules des espèces annuelles sont présentes. (Meirland *et al.* 2008). Les espèces les plus courantes sur la façade Manche sont les espèces du groupe ramosissima – brachystachya. Cependant, la principale espèce récoltée sur la façade Manche est l'espèce *Salicornia fragilis*, caractérisée par trois fleurs subégales et le port en candélabre (**Figure 4**).

Plusieurs espèces ont été identifiées en baie de Somme (Granger, 2003 et Duponchelle, 2012) :

- *Salicornia dolychostachya* et sa variété *fragilis* sur les plus bas niveaux, *Salicornia fragilis* étant l'espèce la plus commune
- *Salicornia ramosissima* – *brachystachya* sur les hauts niveaux,
- *Salicornia disarticulata* et l'hybride, *S. x marshallii* au niveau de la Maye,
- *Salicornia obscura*,
- *Salicornia europaea*.

En baie de Somme, les salicornes se développent sur de larges surfaces entre le Cap Hornu et le Hourdel et entre Saint Valery sur Somme et Le Crotoy (zones de concession de culture marine).



Salicornia fragilis Ball et Tutin

Figure 4 : *Salicornia fragilis* (Lahondère, 2004)

Salicornia fragilis est une espèce annuelle et son cycle de vie passe par 3 phases : la germination, la croissance et la fructification.

1-2-1-1- Germination

La germination de *S. fragilis* est précoce et peut se produire fin janvier, début février tout en se poursuivant parfois jusqu'au mois de mai (Langlois, 2000).

Des études ont mis en évidence qu'une période d'exposition au froid (30 jours à +5°C étant l'idéal) permettait de lever la dormance des graines et d'augmenter la vitesse et la capacité de germination (Keiffer *et al.*, 1994 ; Le Goff, 1999 ; Gunning, 2016). D'autres études ont permis de mettre en évidence qu'un traitement par froid humide entraîne une hausse du taux de germination chez différentes espèces de salicorne. Cette hausse est d'autant plus importante que les graines se trouvent dans un milieu salé (Grouzis, 1974; Lehraiki Semrade, 2008).

La germination des graines de salicorne est fortement liée à la salinité et c'est en l'absence de salinité qu'un taux de germination de 100 % est atteint (Grouzis, 1974 ; Langlois, 2000).

Les précipitations hivernales et printanières jouent donc un rôle important dans le développement de la salicorne. Une hygrométrie élevée au niveau des sols permet la dilution des sels et donc la germination des graines (Ungar, 1973). Une exposition à une eau salée à 0,5 % serait idéale pour obtenir 100 % de germination des graines de *S. europaea* (Orlovsky *et al.*, 2016). Les graines exposées à une salinité plus élevée ne perdent pas leur pouvoir germinatif mais le taux de germination est moindre et la germination est plus longue.

Chez certaines espèces de salicornes, des phénomènes de photosensibilité ont également été mis en évidence (Grouzis, 1974).

La germination des graines de salicorne en milieu naturel est donc liée à de nombreux facteurs comme la salinité, la température et la luminosité.

Six stades de développement de la graine ont été identifiés (**Figure 5**) :

- Stade - : graine fermée
- Stade + : graine ouverte
- Stade 1 : radicule de petite taille
- Stade 2 : radicule bien développée
- Stade 3 : radicule bien développée et présence de racines
- Stade 4 : présence des deux cotylédons

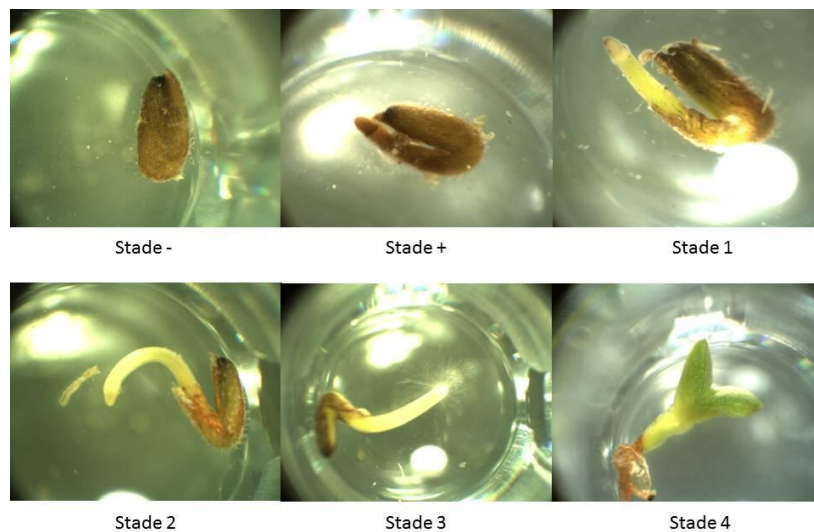


Figure 5 : Stades de germination de la salicorne (Duponchelle, 2012)

1-2-1-2- Croissance

Lors de la phase de croissance, une forte diminution de la densité est observée entre les mois d'avril et de mai et une densité d'environ 1000 individus/m² est observée au mois de septembre (Zambettakis, 1987).

La croissance des salicornes est également influencée par la salinité et la gamme de salinité correspondant à une croissance optimale se situe entre 0,005 % et 1 % de NaCl pour de nombreuses espèces de salicornes annuelles (Grouzis *et al.*, 1977 ; Keiffer *et al.*, 1994). Cependant, la salinité du sol étant en partie dépendante de la pluviométrie, les salicornes sont capables de s'adapter à des fortes variations de salinité (Ungar, 1973). De plus, une étude a mis en évidence que la croissance des plants et le développement de tiges secondaires étaient privilégiés par le NaCl plutôt que par un mélange d'ions (Orlovsky *et al.*, 2016).

L'exondation joue également un rôle crucial dans la croissance des salicornes, d'où leur présence dans des milieux naturels de type prés salés, marais salés, estran, ... Les salicornes pérennes ont tendance à croître au niveau de la slikke et du bas schorre alors que les annuelles sont plutôt retrouvées au niveau du haut schorre.

Suivant les milieux, les salicornes sont régulièrement immergées et peuvent être recouvertes pendant des périodes plus ou moins longues, cette alternance de périodes d'émersions et d'immersions serait nécessaire à leur développement.

L'hygrométrie du sol a donc un effet non négligeable sur la croissance des salicornes, une forte hygrométrie du sol entraînant un bon développement des pousses (Gunning, 2016) alors qu'une faible hygrométrie conduit à une forte mortalité des pousses (Brereton, 1971).

Bien que des phénomènes d'autoéclaircissement (ou *self thinning*) aient déjà été mis en évidence en conditions de laboratoire par Ellison (1989) sur d'autres Chénopodiacées des marais salés (Ellison, 1987), aucun phénomène de mortalité densité-dépendante n'a été mis en évidence chez *Salicornia spp* (Jefferies *et al.*, 1981 ; Riehl & Ungar, 1982).

1-2-1-3- Floraison et fructification

La floraison des salicornes s'échelonne entre fin août et début octobre. Les fleurs sont hermaphrodites (Meirland *et al.*, 2008) ; parfaites (étamines et pistil) ou staminées, minuscules, jaunes ou vertes, au nombre de 1 à 3 et sont groupées à l'aisselle des feuilles ([Figure 6](#)).

La production de graines est estimée entre 550 et 1050 graines par individu (Langlois, 2000). Ce nombre est variable, mais est corrélé à la période de germination. Plus une salicorne germe tôt, plus elle produit de graines. Le Goff (1999) a mis en évidence un dimorphisme des graines de salicorne et a distingué deux types de graines, les petites (0,8 mm) et des grosses graines (1 mm). Les graines les plus grosses sont les premières formées, elles vont murir plus tôt et tomber plus tôt, au début de l'hiver. Les petites graines, quant à elles, atteindront leur maturité à la fin de l'hiver, au mois de février.

Après maturation, certaines graines peuvent rester incluses dans les inflorescences de la plante mère. Ce système pourrait servir à la dissémination en permettant le déplacement par flottaison des plantes mères séchées (Meirland *et al.*, 2008).



Figure 6 : Floraison de *Salicornia fragilis*

La dispersion des graines se produit dès le mois de novembre (Langlois, 2000). Les graines sont principalement dispersées par le vent et la marée. Les graines ont à leur surface, des poils recourbés en crosse, qui leur permettent de s'ancrer au sédiment ou à différents supports et de ne pas être emportée vers le large par les courants des marées (Le Goff, 1999). Elles ont tendance à s'accumuler dans les anfractuosités du sol et dans la couche supérieure du sédiment (0-1,5 cm), pouvant parfois atteindre plus de 9000 graines/m² (Langlois, 2000).

Les graines produites germent l'année suivante ou rentrent en dormance, gardant leur potentiel germinatif pendant plusieurs années. Les graines de salicornes enfouies plus profondément dans le sédiment ont plus de difficultés à germer (Lehraiiki Semrade, 2008).

Cependant, selon les espèces et les conditions climatiques, la longévité des graines vertes est très variable, allant de quelques mois à plus d'un an. La levée des plantules est donc dépendante d'une bonne vernalisation (Granger, 2003).

1-2-1-4- Utilisations

Historiquement la salicorne était utilisée avec d'autres plantes halophytes pour produire de la soude qui rentrait dans la composition du savon. Cependant, cette activité a été remplacée par la production chimique au XIX^{ème} siècle (Jezequel, 2010). Le phosphore qu'elle contient lui a valu d'être utilisée, pour la fabrication du verre au Moyen Age. La salicorne a également des vertus officinales : riche en iode et oligoéléments (phosphore, calcium, silice, zinc et manganèse), vitamines A, C, D et B12. Elle est diurétique, dépurative (éliminant les toxines du corps) et résolutive (provoquant la fonte des engorgements). De nos jours, les salicornes sont principalement utilisées pour un usage culinaire, récoltées de fin mai à juillet. Elles peuvent être mangées crues, cuites, au vinaigre, ... Elles sont également utilisées dans l'industrie de la cosmétique.

1-2-1-5- Exploitation

En baie de Somme, les salicornes sont récoltées en milieux naturels de manière artisanale et constitue la majorité de la production française. En moyenne, un cueilleur ramasse 50 à 80 kilogrammes de salicornes par jour. Les outils autorisés pour la récolte et les périodes d'ouverture sont définis par des arrêtés préfectoraux variant selon les lieux. Ce mode de récolte n'est pas considéré comme de la culture, aucune plantation de végétaux marins n'étant réalisée par les pêcheurs.

La culture de la salicorne est cependant réalisée dans de nombreux pays (France, Israël, Etats-Unis, Pays-Bas) (Creaa, 2010)

1-2-2- La soude maritime

La soude maritime appartient à la famille des Chénopodiacées, c'est une espèce annuelle pouvant atteindre 10 à 50 cm de haut. Cette plante halophile est généralement trouvée dans des habitats de type prés salés, marais salés, estuaires. Elle est caractérisée par une tige dressée herbacée, dure à la base et par des feuilles longues, charnues, glauques, vertes, parfois rougeâtres, molles, demi-cylindriques, plates dessus. D'autres feuilles, plus courtes portent des glomérules de 1 à 3 petites fleurs ([Figure 7](#)) :



Figure 7 : Illustration de la soude maritime *Suaeda maritima* (L.) Dum. (Syn. *Chenopodium maritimum* L.) - Flora Batava (Vol 5)

1-2-2-1- Germination

La germination de la soude maritime se produit généralement à partir de fin février, mais elle peut continuer jusqu'au mois d'avril/mai.

Ungar (1962) et Binet & Boucaud (1968) ont montré en laboratoire que les graines de *Suaeda maritima* étaient capables de germer lorsqu'elles étaient soumises à de fortes salinités.

Boucaud (1972) a, quant à lui, mis en évidence chez deux variétés de soude maritime, une relation entre la résistance des graines à la salinité et leur capacité à survivre dans leurs habitats respectifs. La soude maritime est ainsi considérée comme une espèce halophyte relativement tolérante à la salinité (Shumway & Bertness, 1992).

Le début de la germination coïncide avec l'augmentation des températures mais une pluviométrie importante, d'où une salinité du sol relativement faible en surface et une atténuation de l'effet inhibiteur de la salinité sur la germination des graines (Tessier *et al.*, 2000).

La germination est optimale lorsque la salinité est faible, ce qui pourrait expliquer l'absence d'une banque de graines permanente dans le sol. La mortalité des graines en phase de germination est un facteur critique affectant les densités de soude maritime (Tessier *et al.*, 2000).

3 stades de développement de la graine ont été identifiés (**Figure 8**) :

- Stade 0 : Graine fermée
- Stade 1 : Graine ouverte et radicule développée
- Stade 2 : Radicule développée et présence des deux cotylédons



Stade 0

Stade 1

Stade 2

Figure 8 : Stades de germination de la soude maritime

1-2-2-2- Croissance

La salinité ne semble pas avoir d'effet majeur sur la croissance de la soude maritime. La mortalité des graines et des plants en développement est plutôt attribuée à des facteurs physiques tels que l'anoxie durant les immersions, l'enfouissement des graines par le sédiment et le déracinement des jeunes pousses par la marée (Tessier *et al.*, 2000). Tessier *et al.*, (2000) ont mis en évidence que l'augmentation de la densité s'accompagne d'une modification de la morphologie de *Suaeda maritima*.

À faible densité, cette plante présente un aspect très ramifié. À forte densité, elle a tendance à être moins ramifiée et à avoir une plus petite taille, donc une biomasse moindre. Ces changements morphologiques provoqués par une augmentation de la densité pourraient résulter d'une réduction de la disponibilité en lumière (Ellison, 1987). La production de graines est maximale à des densités moyennes de 1000 plants/m² et diminue lorsque la densité augmente (Tessier *et al.*, 2000).

Suaeda maritima semble également présenter des phénomènes de mortalité densité-dépendante. Ces phénomènes d'autoéclaircissement (ou *self thinning*) ont déjà été mis en évidence en conditions de laboratoire par Ellison (1989).

Ainsi, la stratégie de la soude maritime consistant à adapter sa production de graines aux densités permettrait de constituer une banque de graines permettant d'établir de nouvelles populations en colonisant de nouveaux environnements (Tessier *et al.*, 2000).

De plus, la compétition intraspécifique semble influencer fortement la dynamique de *Suaeda maritima* sur le terrain, même si elle est à mettre en relation avec les facteurs abiotiques.

1-2-2-3- Floraison et fructification

La floraison a lieu de juillet à octobre. Les fleurs sont localisées à l'aisselle des feuilles supérieures. Elles sont petites, accompagnées de 2 ou 3 bractéoles, écartées les unes des autres, blanchâtres, régulières et groupées en épis.

Certains plants portent des fleurs femelles et d'autres des fleurs hermaphrodites. La pollinisation peut être anémogame ou autogame.

Les graines sont noires, luisantes, entourées d'une enveloppe facilitant leur flottaison et donc leur dissémination par l'eau, le vent et les animaux.

1-2-2-4- Utilisations

Historiquement, la soude était utilisée avec d'autres plantes halophytes pour produire de la soude qui rentrait dans la composition du savon. Cependant, cette activité a été remplacée par la production chimique au XIX^{ème} siècle (Jezequel, 2010). Le

phosphore qu'elle contient lui a valu d'être utilisée, pour la fabrication du verre au Moyen Age.

La soude maritime a également des vertus officinales : riche en vitamine C, elle est antiscorbutique, tonique et régulatrice du système. De nos jours, la soude est principalement utilisée pour un usage culinaire.

1-2-2-5- Exploitation

En France, la soude maritime est récoltée dans les milieux naturels de manière artisanale. Les outils autorisés pour la récolte et les périodes d'ouverture sont définis par des arrêtés préfectoraux variant selon les lieux. Ce mode de récolte n'est pas considéré comme de la culture, aucune plantation de végétaux marins n'étant réalisée par les pêcheurs.

1-3- Les ramasseurs de végétaux marins en baie de Somme

Appréciée pour ses qualités gustatives et ramassée pendant plusieurs siècles sur les côtes françaises pour la consommation humaine, la consommation de la salicorne est tombée en désuétude au siècle dernier, avant d'être relancée au début du XXIème siècle (Chevalier, 1922).

La cueillette de végétaux marins comme la salicorne d'Europe, l'aster maritime ou la soude maritime est une activité traditionnelle en baie de Somme qui occupe une place importante dans l'économie locale. Il faut cependant différencier la cueillette de loisir et la cueillette professionnelle car elles ne sont pas soumises à la même réglementation.

Seuls les pêcheurs à pied titulaires du permis de pêche professionnelle (national) et de la licence végétaux marins (régionale) sont autorisés à pratiquer le ramassage des végétaux marins à titre professionnel sur le Domaine Public Maritime du département de la Somme.

Les licences sont gérées par le comité régional des pêches et des élevages marins des Hauts-de-France, elles sont valables annuellement et tacitement renouvelées. Cependant, le nombre de licences accordées est limité et pour obtenir une licence, il faut s'inscrire sur une liste d'attente et attendre qu'une place se libère.

En 2001, les ramasseurs de végétaux professionnels se sont regroupés en une association : l'Association des Ramasseurs de Salicornes de la Baie de Somme. En 2019, cette association comptait 145 professionnels.

Cette association dispose d'une concession de culture marine au sein de laquelle les membres ont l'exclusivité de cueillette. De plus, selon le décret de 1983, l'ensemble des concessionnaires doivent être titulaires d'un diplôme de "culture marine". Ainsi, des sessions de formations, réalisées par le lycée maritime de Boulogne sur Mer/Le Portel ont lieu, permettant que tous les pêcheurs membres de l'Association soient

diplômés en culture marine. La concession de culture marine ayant lieu sur le Domaine Public Maritime (DPM), elle fait l'objet d'Autorisation d'Occupation Temporaire (AOT) d'une durée de 10 ans. Ainsi, dans le cadre de l'AOT délivrée en 2007, 3 concessions, d'une superficie d'environ 300 hectares, ont été accordées sur le DPM entre Le Crotoy et Le Hourdel.

La surface totale de la première concession de végétaux marins en baie de Somme pour 2007-2017 est de 300 hectares (**Figure 9**).

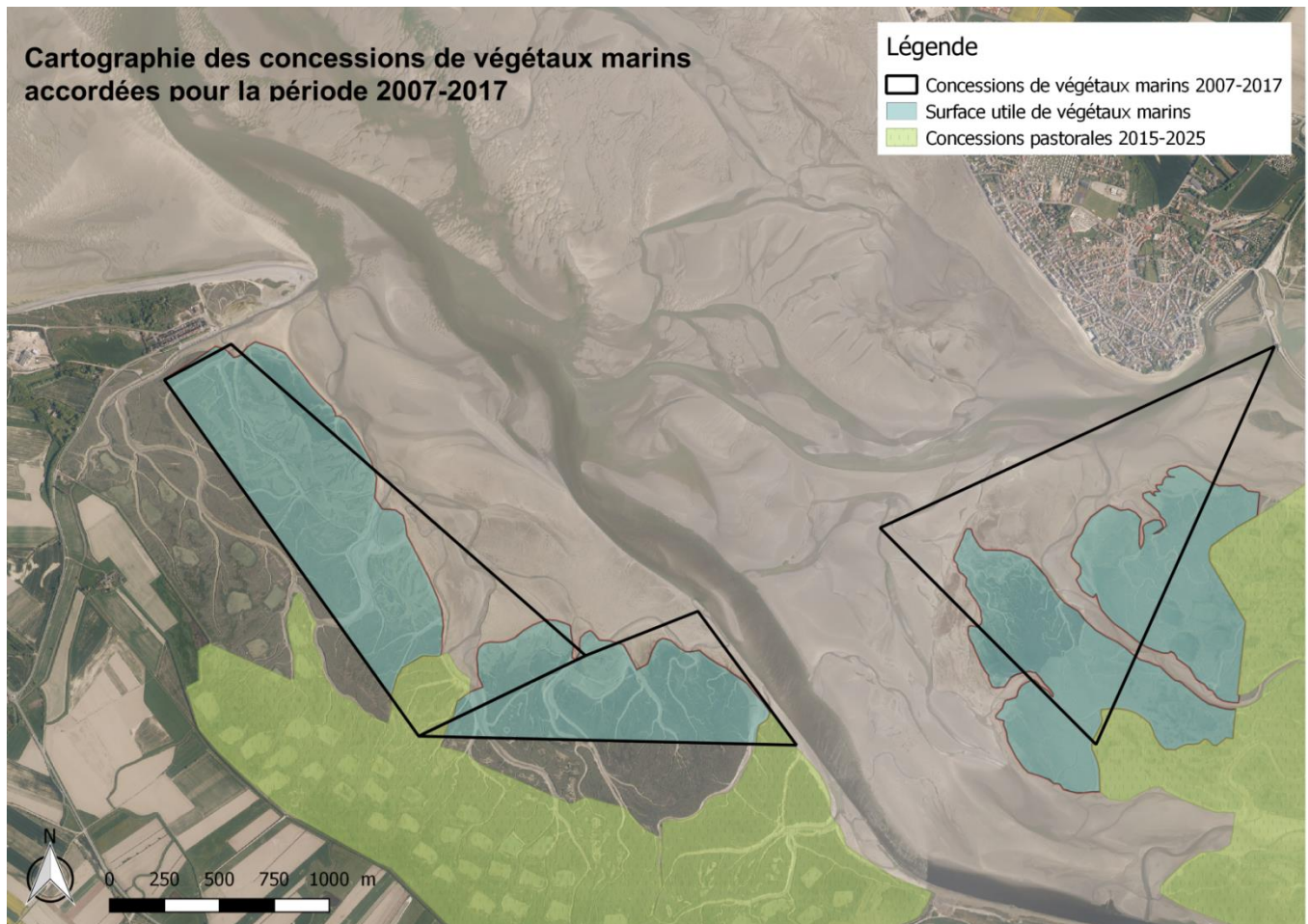


Figure 9 : Cartographie des concessions de végétaux marins accordées pour la période 2007-2017 en baie de Somme

Elle est divisée en 3 zones :

- La zone nord, d'une superficie de 129 ha,
- La zone centrale d'une superficie de 53 ha,
- La zone sud, d'une superficie de 118 ha.

En 2015, le renouvellement des concessions pour le pâturage ovin a entraîné des modifications dans la surface des lots et un débordement sur les concessions de culture marine. En prenant en compte l'évolution naturelle de la végétation dans la baie, une modification du périmètre des concessions de culture marine a été

proposée et adoptée en 2017. Cette nouvelle délimitation entre dans le cadre de l'AOT délivrée pour la période de 2017 à 2027 accordée sur le DPM (**Figure 10**).

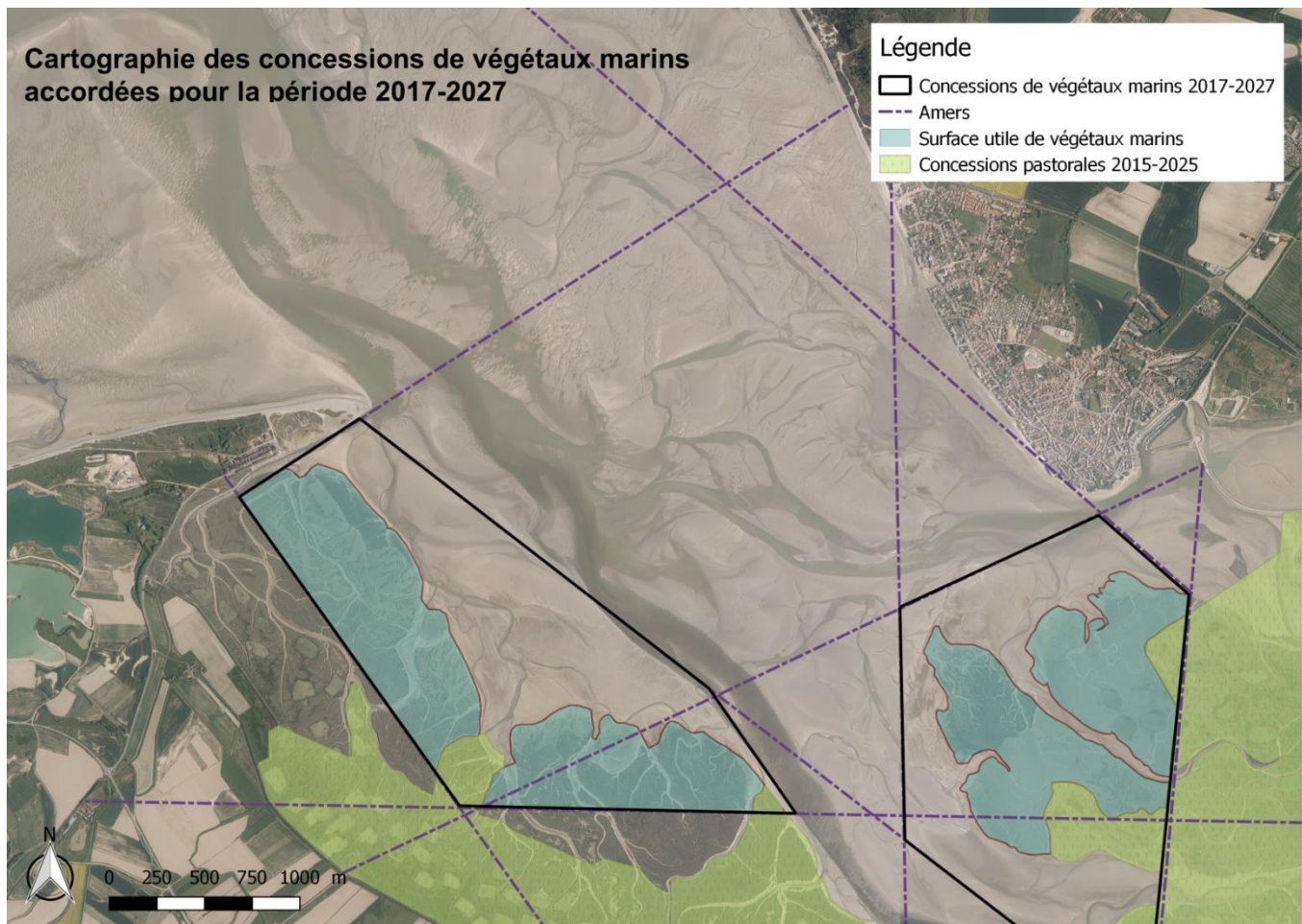


Figure 10 : Cartographie des concessions de végétaux marins accordées pour la période 2017-2027 en baie de Somme

La surface totale de la deuxième concession de végétaux marins en baie de Somme pour 2017-2027 est de 557 hectares. Sa surface utile est de 248 hectares.

Elle se découpe de la façon suivante :

- La zone nord, entre Le Crotoy et Saint Valery sur Somme ayant une surface administrative de 275 ha et une surface utile de 109 ha.
- La zone sud, entre Le Hourdel et Saint Valery sur Somme ayant une surface administrative de 282 ha et une surface utile de 139 ha.

La concession est délimitée par des amers et l'on parle ainsi de surface administrative. Au sein de cette surface administrative se trouve la surface utile, qui est la zone végétalisée réellement exploitable par les ramasseurs de végétaux marins. La redevance payée par l'Association des ramasseurs de salicorne est calculée sur la surface utile et varie en fonction de l'évolution de la végétation. Chaque année, le GEMEL réalise un suivi de la croissance des végétaux marins exploités dans les concessions afin de donner un avis scientifique sur la date possible d'ouverture de la pêche.

L'activité de cueillette des végétaux marins en baie de Somme est réglementée par des arrêtés préfectoraux qui déterminent les lieux, périodes de ramassage, la méthode utilisée et les lieux autorisés. Les arrêtés préfectoraux sont établis suite aux recommandations d'une commission d'ouverture, sous la surveillance de la DDTM qui en dresse le procès-verbal. La commission comprend des membres votants (représentants des pêcheurs) et membres sous voix délibérative (GEMEL, DDTM,...). La période d'ouverture du ramassage de végétaux marins est adaptée au cycle biologique de ceux-ci. L'aster sera généralement cueilli d'avril à octobre alors que la soude et la salicorne le seront de juin à septembre. L'arrêt de la récolte dépend du stade phénologique de la plante qui devient rouge et ligneuse au fil de la saison (Le Goff, 1999).

Les végétaux cueillis dans les mollières poussent de manière naturelle et sauvage sur les zones de concession. Seule la cueillette manuelle est autorisée ; l'arrachage des végétaux marins est interdit. Les principales espèces cueillies sont : la salicorne, l'aster et la soude. La cueillette de la salicorne et de la soude doit se limiter aux parties aériennes. En plus du couteau, une faucille peut être utilisée pour récolter les parties aériennes de la salicorne et de la soude afin de faciliter leur repousse. Quant à la cueillette de l'aster, les feuilles doivent être prélevées une à une.

Les professionnels sont soumis à l'obligation de déclarer les quantités récoltées de végétaux marins, sans limite de quota. La quantité de végétaux ramassée par les pêcheurs professionnels est variable chaque année. Les quantités d'aster et de soude maritime ramassées chaque année ne sont pas connues, mais les quantités déclarées de ramassage de salicorne entre 2009 et 2018 sont les suivantes :

(NB : l'information des années précédentes est indisponible) :

- 2009 : 123 tonnes
- 2010 : 164 tonnes
- 2011 : 177 tonnes
- 2012 : 129 tonnes
- 2013 : 143 tonnes
- 2014 : 101 tonnes
- 2015 : 155 tonnes
- 2016 : 70,5 tonnes
- 2017 : 83,5 tonnes
- 2018 : 164 tonnes

Concernant les pêcheurs de loisirs, le seul engin autorisé pour le ramassage des végétaux marins est le couteau, l'arrachage étant interdit. Ils sont autorisés à récolter une quantité maximale de 0,5 kg par personne et par jour. Le produit doit être destiné uniquement à la consommation du pêcheur et de sa famille, toute vente est interdite. Les pêcheurs de loisirs doivent également respecter les dates d'ouverture et de fermeture de la pêche fixés par les arrêtés préfectoraux et sont autorisés à

récolter des végétaux marins sur le domaine public maritime, en dehors des concessions réservées aux pêcheurs professionnels.

Aucun engin motorisé n'est autorisé à se rendre sur le DPM. Seuls quelques tracteurs peuvent y accéder par dérogation pour la pêche à pied et la réalisation de travaux de lutte contre une espèce envahissante en baie de Somme, la spartine anglaise.

Ainsi, depuis 2006, des travaux de labours ont été effectués chaque année à la période hivernale afin de limiter la prolifération de la spartine. Ils sont réalisés à l'aide d'un tracteur doté d'une chenillette et de rotavator permettant de retourner la végétation superficielle sur une profondeur d'environ 25 cm. Ces travaux de labours sont strictement limités aux zones de concession et doivent respecter la morphologie du site et le réseau de drainage existant, sans destruction, ni colmatage artificiel de chenaux (Rocroy, 2017).

1-4- La spartine anglaise, une espèce invasive

1-4-1- Historique et évolution

La spartine anglaise est une espèce hybride qui n'existait pas il y a un siècle et demi et qui colonise la partie supérieure non végétalisée (slikke) des estrans vaseux et la base des prés salés (schorre).

L'espèce *Spartina alterniflora*, provenant d'Amérique a été introduite accidentellement à la fin du 19^{ème} siècle en Angleterre. Elle s'est alors hybridée avec une espèce locale, *Spartina maritima* engendrant un hybride stérile *Spartina x. townsendii* (**Figure 11**). Par des phénomènes de spéciation, s'est développée *Spartina anglica* une espèce fertile envahissante.

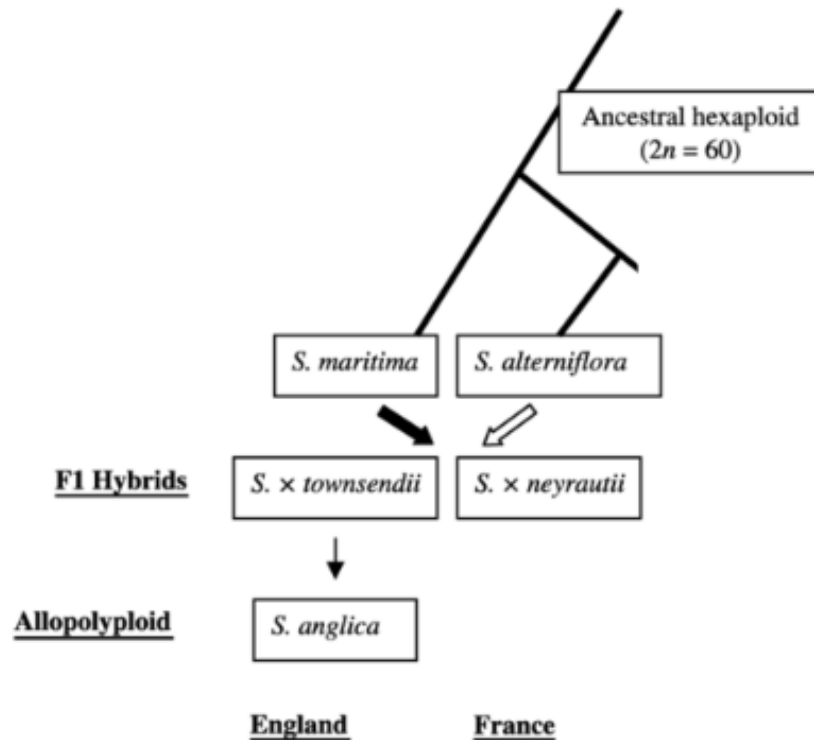


Figure 11 : Schéma synthétique de la lignée Spartina en France et en Angleterre (Ainouche et al., 2003)

La spartine anglaise, est apparue pour la première fois en Angleterre en 1879 et pour la première fois en France dans la Baie des Veys en 1906 (Douay, 2000).

La spartine anglaise a d'abord été considérée comme une espèce intéressante pour lutter contre l'érosion des côtes maritimes du fait de sa capacité à retenir le sédiment par l'intermédiaire de son système racinaire. Elle a donc été plantée massivement dans les îles Britanniques, en Asie, Australie, Nouvelle-Zélande et Amérique du Nord. Sa capacité à se multiplier et à coloniser rapidement les milieux a provoqué de nombreux dégâts sur les côtes, les vasières et les marais salés, avant qu'elle soit considérée comme une espèce envahissante.

Une espèce envahissante est définie comme une espèce exotique dont l'introduction (par l'Homme de façon volontaire ou non), l'implantation et la propagation menacent les écosystèmes, les habitats ou les espèces indigènes avec des conséquences écologiques, économiques ou sanitaires négatives (McNeely, 2001).

Dans le cas de la spartine anglaise, en plus de son introduction volontaire sur certaines côtes, sa propagation pourrait être expliquée par le transport par les courants océaniques, les eaux de ballast de navires ou à un niveau plus local, par la propagation par des animaux et des oiseaux.

La spartine anglaise a depuis colonisé des estuaires dans le monde entier (Daehler & Strong 1996 ; Douay, 2000 ; Langlois, 2000) et figure parmi les 100 espèces

végétales désignées par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature comme les plus dangereuses pour l'environnement (Lowe *et al.*, 2000).

En Europe, la spartine anglaise est présente le long des côtes Atlantiques et de la Manche (Angleterre, Irlande, France, Pays-Bas, Danemark, Belgique, Allemagne et Espagne) (*Figure 12*).

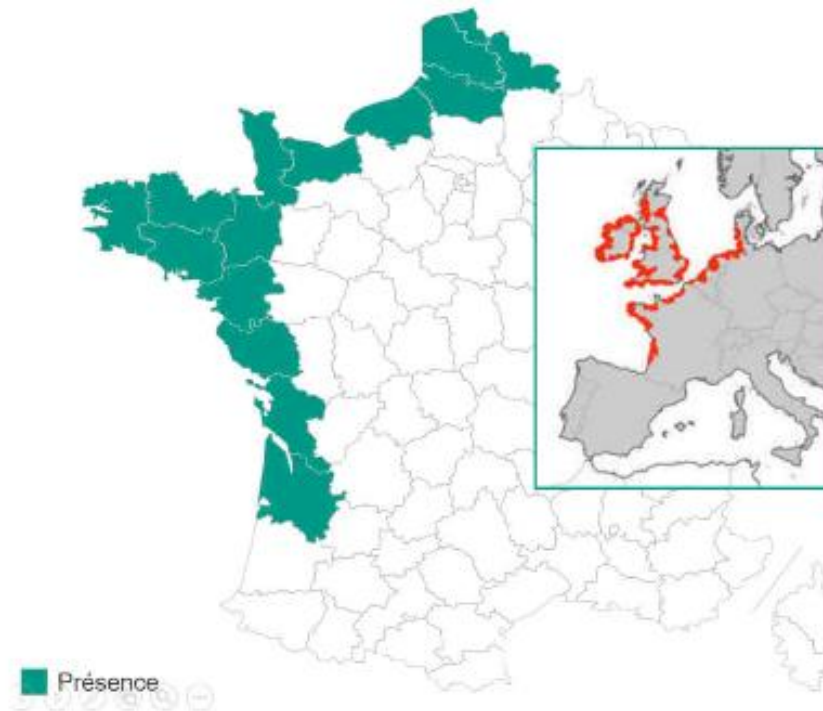


Figure 12 : Répartition de Spartina anglica en France et en Europe (Manceau, 2017)

1-4-2- Arrivée de la Spartine anglaise en baie de Somme

L'arrivée de la spartine en baie de Somme daterait de 1920 (Jacquet, 1949) et pendant plusieurs décennies, sa présence n'a pas semblé poser de problème (*Figure 13*). Cependant, son développement sur les hauts de plage face au Crotoy et dans la réserve naturelle de la baie de Somme dans les décennies 1980 et 1990 a soulevé de nombreuses interrogations quant à son rôle et aux éventuels moyens de limiter son développement. En effet, la spartine facilitant le piégeage des sédiments (Dupont, 1981), elle participe à une modification de la topographie de la baie de Somme et porte préjudice aux espèces autochtones (Douay, 2000).

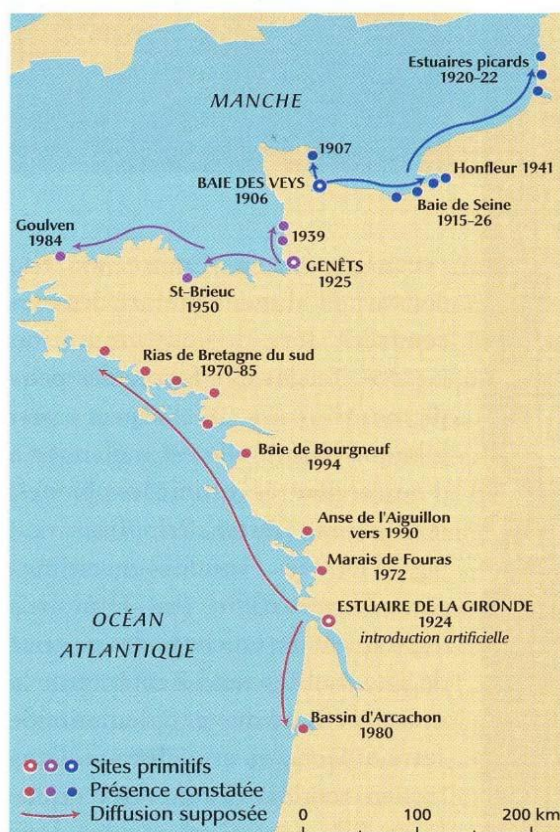


Figure 13 : Progression de *Spartina anglica* le long des côtes françaises depuis son introduction en 1906 dans la Baie des Veys (Lefeuvre et Rauss, 2014)

Cette plante pionnière colonise la partie supérieure des estrans vaseux (haute slikke) et la base ou les dépressions des prés salés (schorre). Elle peut survivre jusqu'à des niveaux proches des hautes mers de mortes eaux, en mode protégé uniquement. Cet espace peut être occupé par des populations denses de salicornes, ce qui n'est pas un frein à l'installation de la spartine anglaise. Elle colonise ainsi un espace où la compétition biologique provenant d'autres espèces vivaces résidentes est faible ou nulle.

Certains facteurs limitent la production de semences de la spartine :

- le mode d'exposition,
- la nature du substrat,
- le taux d'accrétion sédimentaire,
- la quantité d'énergie lumineuse,
- le degré de salure des eaux.

Les sites favorables sont divers, mais la spartine anglaise est principalement retrouvée dans les :

- baies dont certains secteurs internes sont bien protégés, partie aval d'estuaires dans les secteurs non exposés aux houles,
- milieux abrités associés aux bancs d'estran, aux flèches et cordons sableux de haute slikke,
- cuvettes et petites mares du schorre supérieur.

Un mode semi abrité ou abrité favorise le dépôt des matières en suspension et donc l'enfouissement des semences.

1-4-3- Biologie de l'espèce

Spartina anglica est une plante herbacée vivace d'environ 50 cm de hauteur. Elle est caractérisée par des feuilles vertes claires (12 à 37 cm de long et 4 à 15 mm de large) et une ligule formée d'une rangée de poils longs de 1 à 2 mm. L'inflorescence est composée de 4 à 8 épis atteignant 25 cm de long, composés d'épillets longs de 13 à 19 mm (Levy *et al.*, 2015) ([Figure 14](#)).



Figure 14 : Illustration de *Spartina anglica* (Lush *et al.*, 2014) et floraison de *Spartina anglica* en baie de Somme

C'est une plante halophyte qui tolère le sel marin et supporte un certain rythme de submersions par la marée. Elle peut se reproduire de façon sexuée, la floraison et la fructification sont tardives (fin d'été, début d'hiver), les graines sont dispersées par la marée. Cependant, les graines produites sont généralement détruites durant l'hiver car elles ont besoin de conditions particulières (conservation à l'abri de la lumière et période de froid) pour germer l'année suivante (Levasseur & Bonnot-Courtois, 2008).

Son principal atout réside dans ses capacités de reproduction végétative reposant sur de vigoureuses tiges souterraines (rhizomes), des racines traçantes, de nombreux stolons et son développement de type clonal.

Les rhizomes commencent à se développer en fin de saison, au début de la phase de sénescence des feuilles et tiges, jusqu'au printemps. L'extrémité des rhizomes se redresse alors pour donner naissance la première année à une tige aérienne feuillée qui développe une inflorescence la seconde année. Les bourgeons situés à l'extrémité d'un rhizome vont produire plus de tiges vers l'extérieur, d'où un développement centrifuge du clone. Elle s'étend périphériquement à partir d'un pied mère qui rapidement va disparaître au profit de pieds satellites lesquels vont eux-mêmes servir de nouveaux pieds-mères, conduisant à un accroissement du diamètre de ce clone de forme circulaire (**Figure 15**). La durée de vie de cet ensemble est en principe infinie (Levasseur & Bonnot-Courtois, 2008).



Figure 15 : Clones de *Spartina anglica* en baie de Somme

La compétitivité de cette espèce tient au fait que chaque module de clone, isolé par bouturage peut servir de pied mère. Chaque fragment emporté par les marées et les courants est capable de créer de nouvelles colonies une fois échoué (Caillon *et al.*, 2012). Ceci explique pourquoi son éradication est compliquée, dans la mesure où il faut être parfaitement certain que dans un lieu donné, toutes les tiges souterraines ont été extirpées.

Les rhizomes des spartines génèrent deux types de racines. Les racines superficielles qui sont très ramifiées et absorbantes, servent à la nutrition de la plante. Les racines profondes, épaisses, peu ramifiées et longues (80 à 100 cm) servent à l'ancrage de la plante dans le substrat (Levasseur & Bonnot-Courtois, 2008)

1-4-4- Impacts de la spartine anglaise sur l'environnement

La spartine contribue à atténuer l'érosion du trait de côte en diminuant l'énergie de la houle et en stabilisant les sédiments (Triplet, 2012), d'où leur introduction volontaire sur de nombreux sites il y a plusieurs décennies.

Cependant, en tant que plante pionnière et invasive, elle parvient à coloniser la partie haute des vasières, pouvant entrer alors en concurrence avec la flore de la haute slikke et du schorre. L'installation de la spartine anglaise entraîne des changements au niveau des caractéristiques sédimentaires et topographiques des sites, mais également en terme d'apport en nutriments et de décomposition de la matière organique (enrichissement en nitrates, sulfures et autres minéraux). Dans les spartinaies, le sédiment est enrichi de plus de 50 % de matière organique, en comparaison avec les zones de salicornes (Granger, 2003). Cette eutrophisation offre alors un milieu propice à un autre type de végétation (*Tripolium pannonicum*, *Halimione portulacoides*) (Caillon & Caze, 2012).

Elle impacte également la faune, particulièrement l'avifaune limicole en diminuant leurs zones d'alimentation et elle affecte également la faune benthique.

1-4-5- Impacts de la spartine anglaise sur l'économie et les activités humaines

La spartine anglaise peut également avoir des impacts sur les activités humaines et touristiques. Elle est considérée comme une nuisance sur les plages à destination récréative (Levy *et al.* 2015).

En baie de Somme, l'installation de la spartine anglaise contribue à l'ensablement de la baie. Sa présence au niveau des concessions de ramasseurs de végétaux marins est une menace pour les espèces locales exploitées, fragiles, comme la salicorne, la soude maritime et l'aster maritime qui voient leurs habitats se modifier peu à peu. La modification de ces habitats peut également constituer une menace pour l'exploitation des gisements de coques (Levy *et al.*, 2015).

Dans le bassin d'Arcachon, le développement de la spartine anglaise entraîne une accumulation des sédiments fins ayant des effets négatifs sur l'activité ostréicole. La régression des gisements conchylicoles menace l'activité économique locale (Auly *et al.*, 2010).

Enfin, la colonisation par la spartine anglaise a un impact économique direct lié aux coûts engendrés pour limiter sa propagation dans les milieux où elle s'installe (Pages & Scourzic, 2016).

1-5- Les moyens de lutte contre la spartine anglaise testés en France et dans le monde

La spartine anglaise ayant tendance à fortement transformer le milieu où elle s'installe (changements topographiques, sédimentaires ou de circulation de l'eau ...), la restauration des zones où cette dernière est présente depuis relativement longtemps (environ 10 ans) ne garantit pas un retour aux habitats caractéristiques prévalant son installation.

Ainsi, la lutte contre la spartine anglaise est à privilégier dans les zones où la plante s'est installée récemment et où elle ne forme pas encore de colonies denses (Levy *et al.*, 2015).

1-5-1- Méthodes mécaniques ou manuelles

Il existe ainsi différentes méthodes mécaniques et/ou manuelles pour éradiquer la spartine anglaise :

- L'arrachage manuel (à l'aide de bêches) peut s'avérer efficace dans les zones où les colonies de spartine anglaise sont jeunes et peu étendues (1 à 3 ans). Cette méthode est très efficace à la seule condition d'exporter l'ensemble du système racinaire, généralement d'une profondeur de 50 à 60 cm (Hedge *et al.*, 2003). Cette méthode a l'avantage de ne pas nécessiter de formation particulière pour les arracheurs, les outils étant simples et peu coûteux (bêches/fourches) et de ne pas beaucoup perturber le milieu. Cependant, l'arrachage manuel est une technique de lutte fastidieuse, très chronophage notamment pour l'élimination de la biomasse souterraine et qui ne permet pas de traiter de très grandes surfaces (Bishop, 2000 ; Norman & Patten, 1997).

Le moment idéal pour procéder à l'arrachage manuel des pieds de spartine serait avant la basse mer, lorsque les pieds de spartine sont encore dans l'eau. L'arrachage est alors plus facile car le sol est moins compact qu'en absence d'eau et l'export de sédiment est moindre car délayé par l'eau (Service Environnement d'Andernos, 2004).

- L'arrachage à la main des plants de spartine de moins d'un an peut être une méthode efficace de contrôle (Hedge *et al.*, 2003). Cependant, tant que des plants adultes seront à proximité, l'arrachage devra être répété continuellement. Le retournement des plantules pourrait également suffire à éradiquer les jeunes plants de spartine en cas de petites infestations (Bishop, 2000).

- Le travail mécanique du sol est également utilisé dans la gestion des zones envahies par la spartine anglaise. Il est avantageux pour traiter de plus grandes surfaces.

Le labour du sol à l'aide d'un « rotavator » (motoculteur à lame montée sur un axe horizontal permettant de retourner les premiers centimètres de substrat) ou « rotolabour » (Levy *et al.*, 2015) a montré de bons résultats, notamment en baie de Somme (Triplet, 2003). Cependant, plusieurs passages sont nécessaires et l'opération doit être régulièrement renouvelée (Le Goff, 1999). Dans le sol sableux de Lindisfarne (Angleterre), 95 % des spartines ont été détruites après intervention mécanique (Davey *et al.*, 1996). Le labour hivernal permet de détruire 67 % à 77 % des spartines, pour seulement 22 % à 37 % en février. Aux Etats-Unis, cette méthode fournit 90 % d'efficacité en hiver et moins de 70 % au printemps. Il faut deux ans de labour hivernal pour atteindre 99 % d'éradication et entre 2,5 et 6 ans pour les autres méthodes mécaniques (Triplet, 2012).

Cependant, il est important de prendre en considération que l'arrachage ou le retournement, qu'ils soient manuels ou mécaniques, présentent un risque important de laisser des fragments de rhizomes dans le sédiment. Ceux-ci pourront être remobilisés lors des marées et exportés vers d'autres sites qui n'étaient pas encore colonisés par la spartine anglaise (Levy *et al.*, 2015).

- L'étrépage, une autre méthode mécanique utilisée, consiste à retirer totalement la couche supérieure du substrat. Cette méthode a été utilisée dans l'Anse du Kernic (Finistère, France) et dans le bassin d'Arcachon. Cette méthode, bien que très efficace, engendre de nombreuses conséquences négatives sur l'écosystème (Guenegou *et al.*, 1991) et les gros volumes de sédiments exportés doivent être traités.
- La fauche des touffes de spartine permet de limiter leur expansion, par diminution de la production de graines. Cependant, cette méthode réalisée à une période inadaptée (fauche automnale ou hivernale) peut provoquer une densification (Le Nindre *et al.*, 2004 ; Hubbard, 1970). Cette méthode a présenté des résultats aléatoires mais peut être utile si elle est combinée à d'autres méthodes (recouvrement par exemple).
- Le recouvrement ou étouffement consiste à recouvrir la spartine de géotextile ou de bâche plastique noire. La spartine privée de lumière est incapable de réaliser sa photosynthèse et la présence de la bâche accélère sa décomposition (B.I.R.C., 2000). Cette méthode est plus efficace si elle est préalablement associée à un fauchage ou un brûlage cependant elle reste coûteuse, difficile à mettre en œuvre du fait de l'hydrodynamisme et de la non biodégradabilité des matériaux utilisés.

- La privation d'eau de mer par endigage peut également être une méthode efficace sur de petites surfaces pour contrôler la spartine. La spartine étant hygrophile, elle perd ainsi son potentiel de compétition (Aberle, 1990 ; Le Nindre *et al.*, 2004)
- La noyade des colonies de spartine par la mise en eau prolongée des zones envahies, combinée à une fauche régulière a permis d'obtenir de bons résultats dans les marais de Séné (Morbihan, France) et ainsi une forte diminution de la présence de spartine (Gélinaud & Le Gall, 1999).
- Des tests de désherbage thermique ont également été testés en baie de L'aiguillon (Corre *et al.*, 2008). Cette méthode agit essentiellement par déshydratation, son efficacité est très réduite car la spartine contient beaucoup d'eau, mais elle permet cependant de limiter la production de graines (Bishop, 1998).

1-5-2- Méthodes biologiques

La lutte biologique est une méthode de lutte contre un ravageur, une plante adventice ou envahissante au moyen d'organismes naturels antagonistes de ceux-ci, tels que des phytophages, des parasitoïdes (arthropodes...), des prédateurs (nématodes, arthropodes, vertébrés, ...), des agents pathogènes (virus, bactéries, champignons, ...), dans le cas d'un ravageur phytophage.

La lutte biologique contre la spartine va consister à réguler les populations présentes par l'introduction d'herbivores qui vont naturellement s'attaquer à la spartine. Lorsque la spartine est peu installée dans la zone, cette méthode peut s'avérer efficace pour réduire significativement les densités de *S. anglica* (Roberts & Pullin, 2007).

Une grande diversité d'organismes a déjà été testée et les meilleurs résultats ont été obtenus avec un insecte, *Prokelisia marginata*, ayant démontré, une capacité à réduire la biomasse et la production de graines des spartines, en laboratoire (Daehler & Strong, 1997) et en champs à l'aide de cage (Grevstad *et al.*, 2003). Cependant, ces résultats sont à prendre avec précautions du fait de la nécessité d'une grande quantité d'insectes pour être efficace, de la possibilité de l'élaboration d'une résistance de la part de la spartine (Roberts & Pullin, 2007 ; Wu *et al.*, 1999) et du fait de possibles risques pour d'autres espèces locales.

D'autres sortes d'organismes, comme les nématodes ou des ongulés (cerfs, moutons), ont également été testés comme agent de bio contrôle de la spartine anglaise (Hannaford *et al.*, 2006, Ranwell, 1961 ; Daehler & Strong, 1994, 1995, 1996, 1997 ; Le Nindre *et al.*, 2004). Cependant, ces espèces ne s'attaquent pas spécifiquement à la spartine anglaise

Tout herbivore qui se nourrit de spartine peut être envisagé comme agent de contrôle biologique (Payne, 1972 ; Pfeiffer & Wiegert, 1981 ; Aberle, 1990 ; Strong, 1990). La spécificité des espèces cibles de chaque agent de contrôle biologique potentiel doit cependant être testée avant toute introduction dans le milieu (Hammond, 2001).

La lutte biologique doit plutôt être envisagée comme une méthode de contrôle que comme une méthode d'éradication totale de la spartine anglaise. Cette méthode a néanmoins l'avantage d'être peu coûteuse (Levy *et al.*, 2015).

1-5-3- Méthodes chimiques

L'utilisation d'herbicides est une méthode couramment utilisée comme moyen d'éradication de la spartine anglaise (Pages & Scourzic, 2016). Les premiers essais ont suggéré que le Dalapon était l'un des herbicides les plus efficaces pour éradiquer les populations de spartines invasives avec des résultats autour de 90 % de mortalité (Ranwell & Downing, 1960 ; Taylor & Burrows, 1968).

En 2001, Hammond estimait à 16 le nombre d'herbicides testés dans des essais d'éradication de la spartine. L'herbicide le plus couramment utilisé est cependant le Glyphosate. Dans plusieurs endroits (par exemple dans l'état de Washington ou en Nouvelle-Irlande), il est l'un des rares herbicides autorisés pour une utilisation en environnements estuariens (Hammond, 2001).

Les résultats des différentes études sur l'utilisation du Glyphosate sont très variables. L'âge des plants de spartine est considéré comme un facteur pouvant expliquer l'hétérogénéité des résultats obtenus avec les applications d'herbicides (Taylor & Burrows, 1968).

Le succès de l'herbicide est variable en fonction des taux d'herbicides, des agents tensioactifs utilisés, de la méthode d'application et des conditions environnementales (le régime des marées, conditions météorologiques au moment de l'application).

Aux États-Unis, l'Imazapyr a été testé pour éradiquer *S. alterniflora* et semblerait plus efficace que le Glyphosate ; il sera l'herbicide le plus utilisé à l'avenir aux États-Unis (Triplet, 2012). Fisher *et al.* (2003) considèrent que l'Imazapyr peut être un traitement sûr, très efficace pour le contrôle et l'éradication de la spartine dans le cadre d'un estuaire car il présente un risque nettement inférieur à tous les autres traitements chimiques existants. L'Imazapyr présenterait une toxicité insignifiante pour la faune aquatique et terrestre, ne serait pas persistant dans l'environnement et ne présenterait pas de phénomène de bio-concentration ou de bio-accumulation, cependant leur rapport précise que certaines des études menées sur le sujet présentent des lacunes.

Une autre méthode de traitement chimique ayant été testée dans la lutte contre la spartine est l'utilisation de chaux. L'épandage de chaux avec enfouissement mécanique (10 tonnes/hectare) permet une éradication à plus de 98 %. Cette efficacité s'explique par la forte augmentation du pH à 10 permettant l'élimination de la totalité des racines (Fagot *et al.*, 1999).

Ces procédés chimiques (pesticides, herbicides ou chaux) sont considérés par certains comme efficaces, mais les quantités importantes apportées dans le milieu et le caractère non sélectif de ces produits perturbent de façon importante la flore locale et la faune benthique et donc tout le réseau trophique.

Par ailleurs, en France, les traitements chimiques sont interdits sur le Domaine Public Maritime et doivent faire l'objet d'une dérogation.

1-6- Les moyens de gestion testés en baie de Somme

1-6-1- Travaux réalisés en baie de Somme dans le cadre de la lutte contre la spartine anglaise

1-6-1-1- Expérimentations réalisées par le SMBDSGLP

Afin de connaître l'impact de la végétalisation par la Spartine anglaise et de préciser la meilleure façon de limiter sa progression sur les hauts de plage, des expériences de contrôle ont été menées dès 1999 par le SMBDSGLP (Syndicat Mixte Baie De Somme Grand Littoral Picard). Un des résultats attendus était la conservation locale d'habitats non végétalisés dans lesquels se nourrit l'avifaune (Triplet *et al.*, 2008).

En 1999, une première expérience de contrôle comparant plusieurs méthodes a ainsi été menée entre Le Crotoy et la plage de la Maye.

Cette étude a permis de montrer que les populations de limicoles favorisaient les zones où le sol avait été retourné au dépens des zones ayant été traitées chimiquement (Fagot *et al.*, 1999).

Ces résultats ont permis la mise en place d'un protocole expérimental visant à traiter de plus grandes surfaces. Les principaux objectifs de cette étude étaient de déterminer si ce contrôle pouvait favoriser le maintien de zones d'alimentation pour l'avifaune et contribuer à la restauration des paysages d'habitats non végétalisés. Ces travaux ont été menés entre 2002 et 2005 (Triplet *et al.*, 2003 et 2005) et ont permis de montrer que dans les secteurs traités par action mécanique, on observe :

- une baisse de la topographie et un retour des échanges sédimentaires et un rééquilibrage sédimentaire en période hivernale,
- un changement de granulométrie, avec une diminution de la taille des grains et le retour d'un substrat de type vaseux,
- un retour de la spartine dépendant de la présence de plants bien installés à proximité, avec un retour rapide des plants dans les zones proches de foyers déjà colonisés,
- des différences de densités chez trois espèces benthiques (*Hediste diversicolor*, Corophies et Hydrobies) entre les zones labourées et non labourées.

Malgré des différences dans la rapidité de recolonisation de la spartine selon les transects, l'étude a permis de constater que la végétation initiale, dominée par la spartine a repris au bout de 30 mois sur presque tous les quadrats.

Cette étude a permis de mettre en évidence que si aucune intervention n'est faite sur les zones en cours de colonisation par la spartine anglaise, celles-ci vont passer d'un paysage d'estran marin sableux à un paysage végétal de type marais salé.

Ces conséquences auront un impact négatif sur la flore locale mais également sur la faune, et particulièrement les limicoles et autres espèces d'oiseaux dépendants de ces milieux. Ainsi, en cas d'intervention pour limiter le développement de la spartine anglaise, il est conseillé dans cette étude que les zones où la spartine est en cours d'installation soient régulièrement travaillées au rotavator afin de limiter la sédimentation.

1-6-1-2- Expérimentations réalisées par le GEMEL

Avant l'attribution des concessions de culture marine, des travaux de labours ont été réalisés dans le cadre d'une AOT du DPM. Dans le cadre de travaux expérimentaux menés par le GEMEL, différents secteurs ont été labourés en 1998 (*Figure 16*) et 1999 (*Figure 17*). Des travaux ont également été menés en 1997 mais leur localisation n'est pas connue (Meirland *et al.*, 2009). A l'époque, le but principal était de tester les bonnes pratiques de culture permettant de favoriser le développement de la salicorne en limitant la concurrence de la spartine (Granger, 2003). Des actions souterraines ont été menées à l'aide d'un rotavator et d'une charrue et des actions sur les parties aériennes des plantes ont été réalisées par fauche et tassage. Concernant l'impact des travaux sur les salicornes, il a été montré que les travaux de tassage et de fauche pendant la période de fructification n'avaient pas modifié les densités de salicornes alors que des travaux de fauche répétés entraînaient une diminution des densités. Les travaux réalisés en profondeur ont considérablement limité la germination des salicornes s'ils étaient précédés d'une fauche avec extirpation du matériel végétal. Alors qu'aucune modification immédiate n'a été observé lorsque les travaux étaient précédés d'une fauche sans extirpation du matériel végétal (donc des semences), les densités de salicorne ont augmenté dans les années qui ont suivies (Granger, 2003).

Concernant l'impact des travaux sur la spartine, il a été mis en évidence que les travaux de surface entraînaient une augmentation de la densité de spartine par rapport aux parcelles témoins (115 à 170 individus/m²), alors que les travaux de profondeur entraînaient une forte diminution des densités (10 à 20 individus/m²). Il a également été mis en évidence qu'un seul passage mécanique n'était pas suffisant pour éradiquer correctement la spartine alors que la combinaison de plusieurs actions mécaniques était plus satisfaisante. Dans les secteurs où la spartine occupait 60 % de la surface, le recouvrement est passé à 20 % (Granger, 2003).

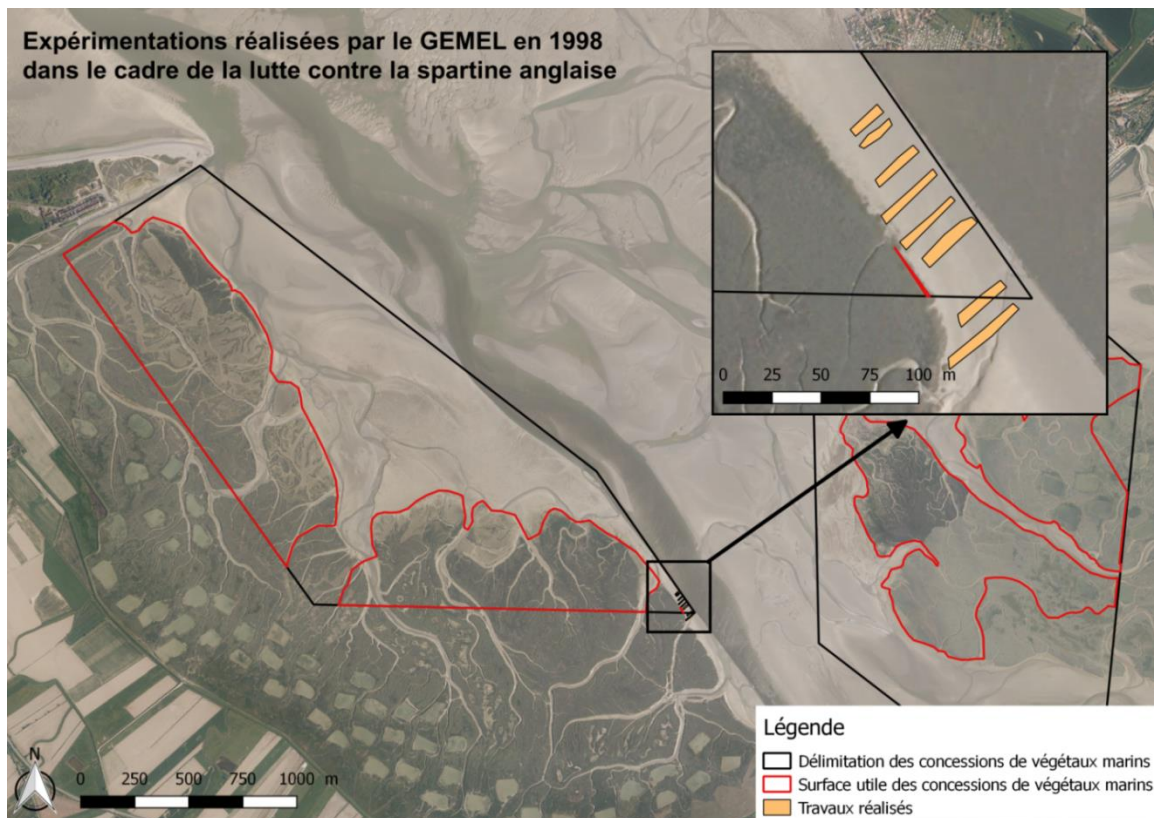


Figure 16 : Localisation des travaux réalisés par le GEMEL en 1998 dans le cadre de la lutte contre *Spartina anglica*

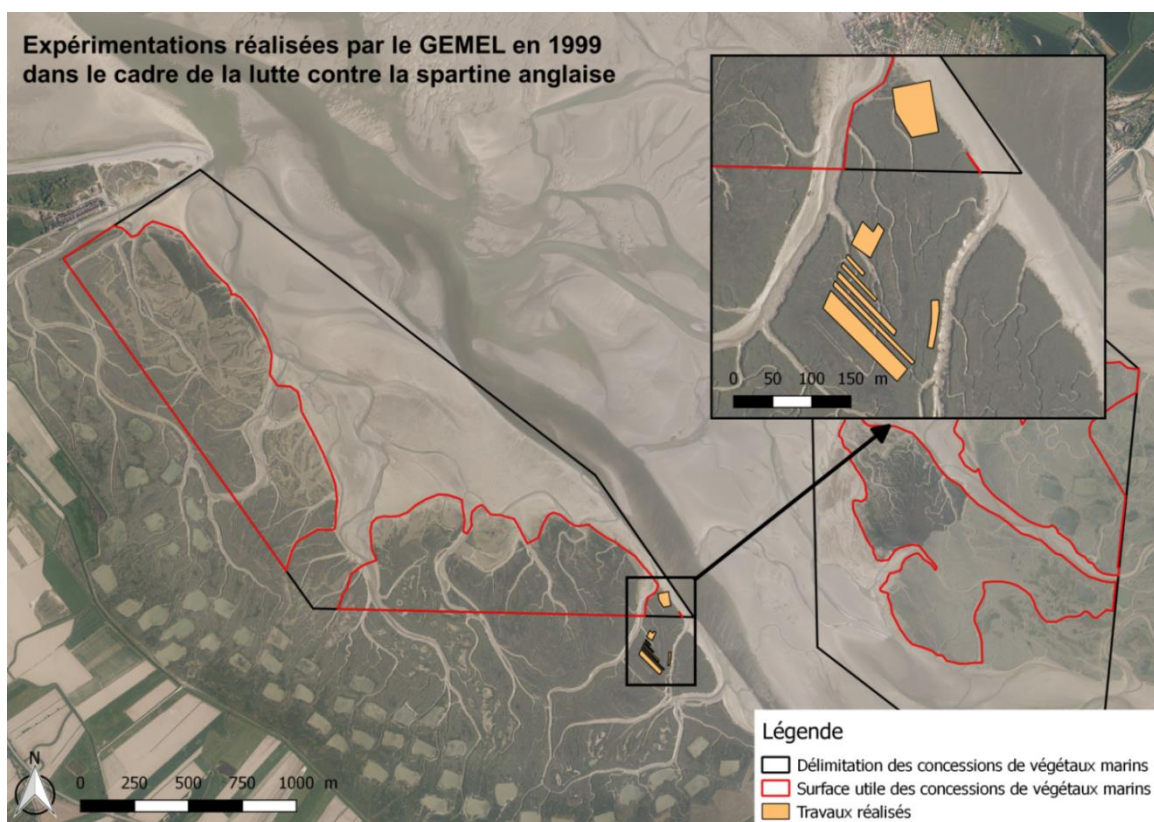


Figure 17 : Localisation des travaux réalisés par le GEMEL en 1999 dans le cadre de la lutte contre *Spartina anglica*

1-6-1-3- Travaux réalisés par l'Association des Ramasseurs de Salicornes de la baie de Somme et encadrés par le GEMEL

Depuis 2007, l'Association des Ramasseurs de Salicornes de la Baie de Somme réalise des travaux de labours dans ces concessions afin de limiter la propagation de la Spartine anglaise.

Afin de préciser les règles et consignes, un contrat de prestations de labour sur les concessions de l'Association de ramasseurs de salicornes de la baie de Somme a été établi par le GEMEL (**Annexe 1**).

Chaque année, des labours ont lieu dans les concessions en fonction de l'étendue et de la localisation de la spartine, les mesures des surfaces travaillées sont ensuite effectuées par le GEMEL.

Ce dernier s'assure également du bon déroulement des travaux au sein des concessions et du respect des consignes : les travaux réalisés doivent respecter la morphologie du site et plus particulièrement le réseau de drainage existant (les labours de chenaux et le colmatage artificiel par déplacement de matériaux ne sont pas autorisés).

L'ensemble des travaux ayant été réalisés dans les concessions de végétaux marins depuis 1998 sont superposés sur la **Figure 18**. Ils sont détaillés année par année en **Annexe 2** (entre 2006 et 2019).

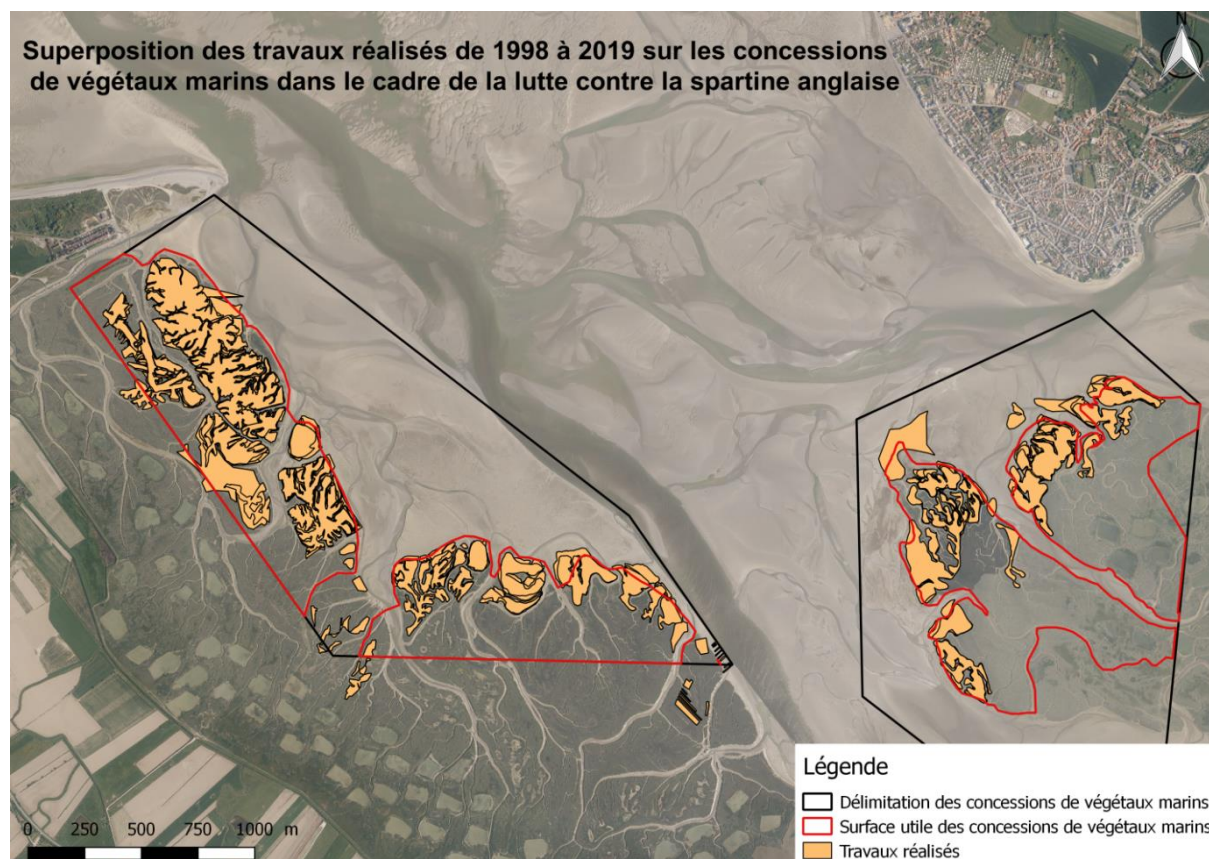


Figure 18 : Superposition des zones travaillées de 1998 à 2019 dans le cadre de la lutte contre *Spartina anglica*

1-6-1-4- Travaux réalisés par les communes

Les communes bordant la baie de Somme sont autorisées à réaliser des travaux de labours sur leurs concessions de plage afin de limiter la prolifération de la spartine anglaise. Ces travaux ont pour but d'éliminer la végétation de ces plages et les laines de mer sont malheureusement ramassées elles aussi.

La date et les modalités de ces travaux ne sont pas toujours transmises, seule la localisation de la concession de plage où les travaux ont eu lieu est précisée.

Ainsi les communes de Saint Valery sur Somme et le Crotoy ont réalisé des travaux de lutte contre la Spartine anglaise au niveau de leurs concessions de plage.

A Saint Valery sur Somme, des travaux ont été réalisés au niveau de la « plage de la Ferté » localisée près du port, (mais qui n'est plus utilisée) et au niveau de la « plage de ville » localisée au bout du Quai Jeanne d'Arc.

Au Crotoy, des travaux sont régulièrement réalisés pour limiter le développement de la spartine anglaise sur les concessions de plage (Meirland *et al.* 2009).

2- Matériel et méthodes

2-1- Données météorologiques

Différentes données météorologiques ont été acquises au niveau de la baie de Somme à l'aide d'une station météorologique et de l'application AccuWeather. D'autres données complémentaires telles que la durée d'ensoleillement journalière et la radiation globale instantanée ont été téléchargées sur le site infoclimat.fr.

2-2- Présentation des sites expérimentaux

Cette étude a été réalisée en baie de Somme, dans le département de la Somme et, dans la région des Hauts-de-France. Elle s'est portée sur 2 sites expérimentaux, chacun situé dans une des concessions des ramasseurs de végétaux marins (**Figure 19**). Le 1^{er} site expérimental est localisé au niveau du Crotoy (Lambert 93 ; X = 602101 ; Y = 7013102) (**Figure 20**), le 2nd site expérimental est localisé au niveau du Hourdel (Lambert 93 ; X = 597843 ; Y = 7013756) (**Figure 21**). Les emplacements des sites expérimentaux ont été déterminés en fonction de leur accessibilité, leur couverture végétale et en accord avec les pêcheurs de végétaux marins de l'Association des ramasseurs de salicorne de la baie de Somme.

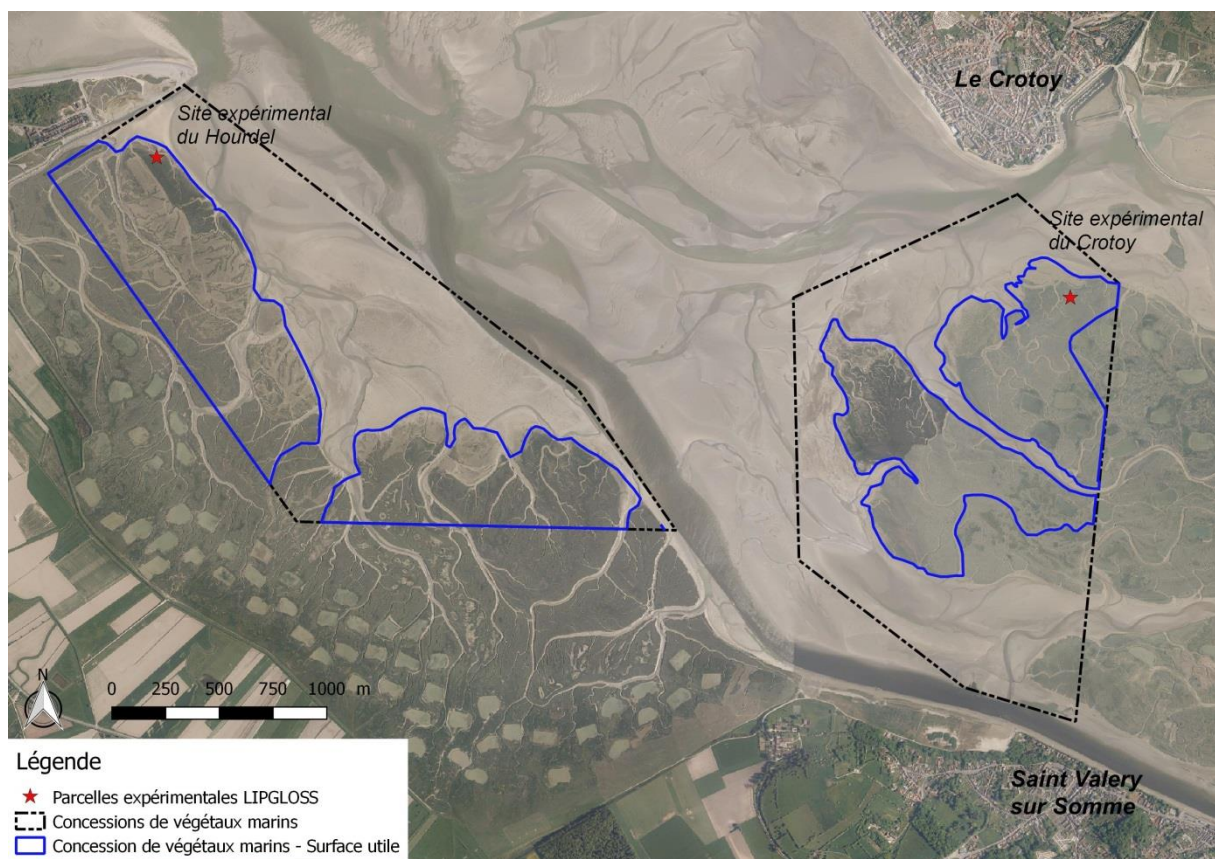


Figure 19 : Localisation des parcelles expérimentales du projet LIPGLOSS en baie de Somme

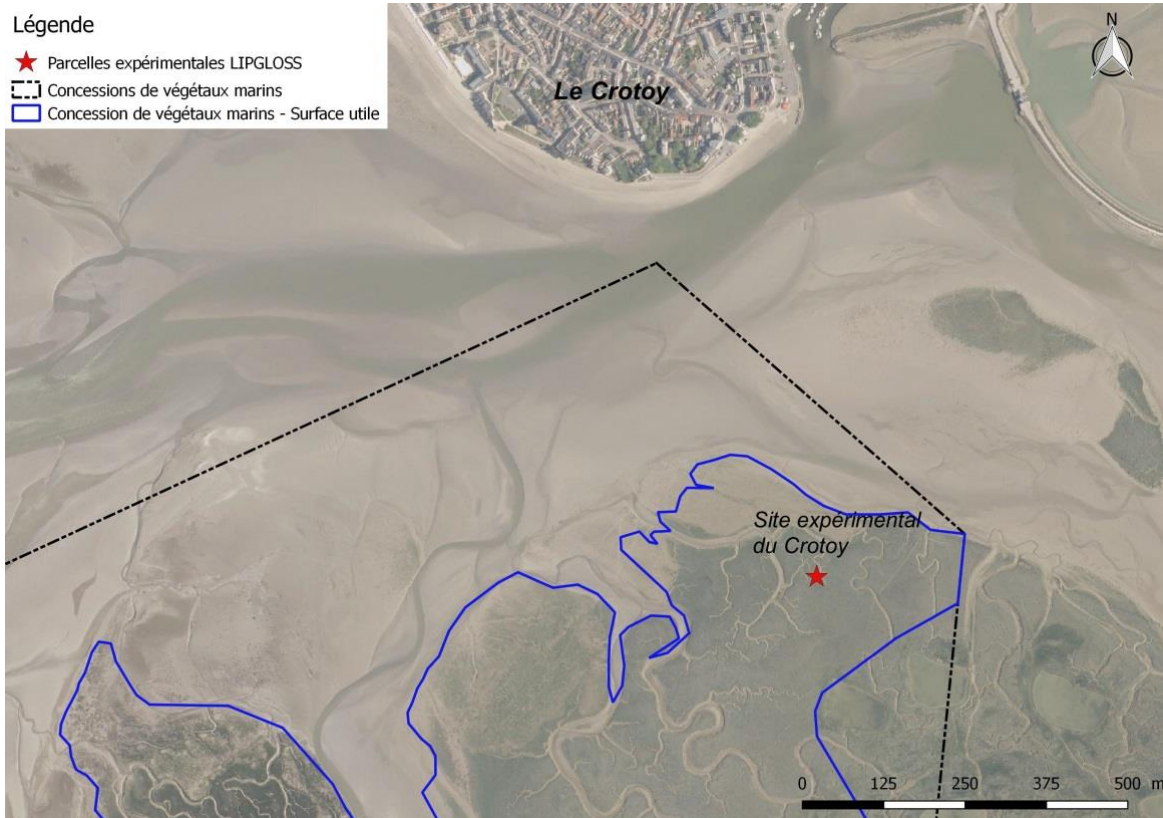


Figure 20 : Localisation de la parcelle expérimentale du Crotoy

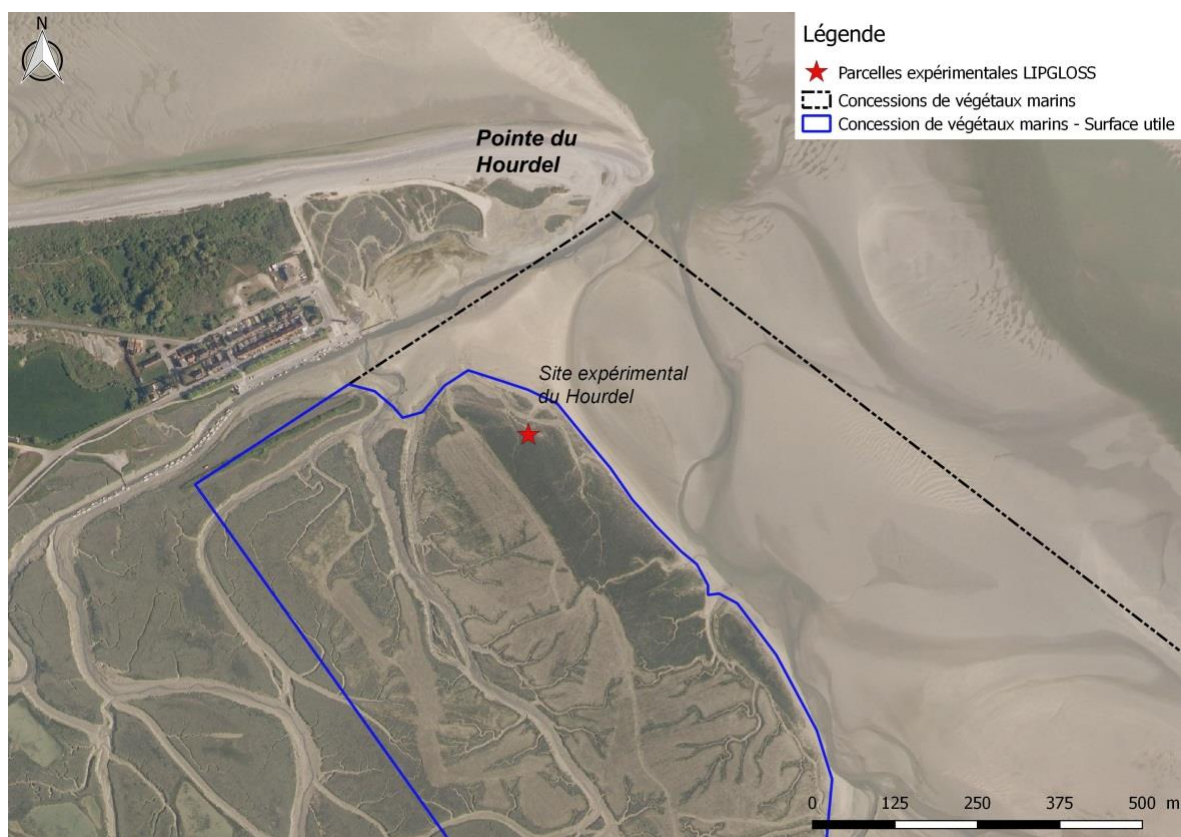


Figure 21 : Localisation de la parcelle expérimentale du Hourdel

2-3- Caractérisation des sites expérimentaux

2-3-1- Granulométrie et teneur en matière organique

Une analyse granulométrique a été réalisée sur les sites expérimentaux du Crotoy et du Hourdel. Pour cela, du sédiment a été prélevé sur les 15 premiers cm de profondeur au niveau de chaque site expérimental à l'aide d'un carottier.

L'analyse granulométrique a été réalisée de façon pondérale, selon le protocole suivi dans le cadre de la DCE (Directive Cadre sur l'Eau ; Garcia *et al.*, 2014). Le sédiment est tamisé sous eau douce sur un tamis de vide de maille de 63 μm afin d'éliminer la fraction inférieure à 63 μm . Le refus de tamis est récupéré dans un bol et placé dans une étuve à 60°C pendant une durée minimale de 48 heures. Une pesée du bol est ensuite effectuée afin de déterminer la masse de particules fines (< 63 μm) ([Figure 22](#)). Le reste du sédiment est quant à lui mis à sécher à l'étuve à 60°C pendant une durée minimale de 48h.



Figure 22 : Analyses granulométriques réalisées au laboratoire

Le tamisage du sédiment sec s'effectue sur une colonne de tamis **AFNOR** ([Figure 23](#)) comprenant 21 tamis. Chaque tamis est pesé vide et mis en série dans la colonne de tamisage (maille la plus grande au sommet). La colonne de tamis est placée sur un fond dans la tamiseuse, le sédiment sec est déversé au sommet de la colonne et celle-ci est fermée à l'aide d'un couvercle. Le tamisage s'effectue à une fréquence de 2000 vibrations/sec pendant 10 à 15 minutes de vibrations. Les tamis sont ensuite pesés avec leurs refus à l'aide d'une balance à 0,1 g près. La masse du sédiment retenue par le tamis est déterminée par un calcul de différence de pesée (tamis plein – tamis vide).



Figure 23 : Tamiseuse avec colonnes AFNOR et pesée des sédiments après tamisage

L'analyse granulométrique peut être caractérisée par différents indices, dont la courbe granulométrique cumulative. Le quartile 1 (Q1) est la valeur du diamètre à 25 % de la courbe, la médiane (Md) est la valeur du diamètre à 50 % de la courbe, le quartile 3 (Q3) est la valeur du diamètre à 75 % de la courbe.

La teneur en matière organique de chaque sédiment a également été déterminée. Pour chaque site, du sédiment (environ 20 g) a été placé dans une coupelle en aluminium pré-pesée. Celles-ci ont été séchées à l'étuve à 60°C pendant une durée minimale de 48h, elles ont été pesées et ont ensuite été passées au four à 450°C pendant 4 h puis pesées à nouveau (**Figure 24**). La teneur en matière organique du sédiment est déterminée par un calcul de différence de pesée (poids sec – poids de cendres) (Garcia *et al.*, 2014).



Figure 24 : Mesures de la teneur en matière organique au laboratoire

2-4- Expérimentations sur le terrain

Les expérimentations réalisées sur le terrain ont pour objectif de mesurer les effets des travaux de lutte contre la spartine anglaise sur deux espèces locales, la salicorne et la soude maritime.

Elles ont été réalisées sur les deux sites expérimentaux (Le Crotoy et Le Hourdel) et sont de deux types :

- Des mesures effectuées directement sur le terrain dans des zones travaillées et non travaillées :
 - o mesures de croissance de la salicorne et de la soude maritime en zones labourées et non labourées au cours de l'année 2019
 - o relevés floristiques effectués sur différentes zones ayant été travaillées plus ou moins régulièrement et il y a plus ou moins longtemps en utilisant la cartographie de l'historique des labours réalisés en baie de Somme de 1999 à 2019

- Des mesures effectuées en conditions « contrôlées », réalisées afin de simuler différents phénomènes comme le labour ou l'enfouissement des graines dans le sédiment :
 - o labours expérimentaux :
 - relevés floristiques, mesures de croissance
 - carottages
 - o enfouissement de graines

2-4-1- Mesures de croissance de la salicorne et de la soude

Des mesures de croissance ont été réalisées dans les concessions de ramasseurs de végétaux marins au niveau de zones labourées et de zones non labourées. Les zones labourées l'ont été dans le cadre des travaux menés par l' « Association des Ramasseurs de Salicorne de la baie de Somme » pour limiter la propagation de la spartine anglaise en Baie de Somme.

Les travaux ont été réalisés sur les concessions du Crotoy en janvier 2019 ([Figure 25](#)) et au niveau du Cap Hornu en février 2019. En raison de problèmes techniques, les travaux de labour qui devaient être effectués dans les concessions au niveau du Hourdel n'ont pas pu avoir lieu.



Figure 25 : Labours réalisés dans le cadre de la lutte contre la spartine anglaise sur la zone de concession entre Le Crotoy et Saint Valery sur Somme en janvier 2019

Des jeunes plants de salicorne et de soude ont donc été prélevés régulièrement sur les concessions du Crotoy en zone labourée et non labourée (**Figure 26**). Les prélèvements au niveau de la concession du Hourdel n'ont pu être effectués qu'en zone non labourée étant donné que les travaux de labour n'ont pas pu avoir lieu.



Figure 26 : Plants de salicornes et de soude maritime prélevés sur le terrain

Les plants de la salicorne et de soude maritime ont ensuite été mesurés, sans leur système racinaire, à l'aide d'un pied à coulisse au laboratoire (**Figure 27**).



Figure 27 : Mesure des jeunes plants prélevés au laboratoire

Les mesures obtenues permettent de comparer la croissance de la salicorne et de la soude maritime (**Figure 28**) entre les sites et en fonction de la réalisation ou non d'un labour sur les parcelles.

De plus, ces données viennent enrichir un modèle de croissance de la salicorne établi au GEMEL, permettant la prédiction de la croissance de la salicorne et donc de la date potentielle d'ouverture de la cueillette des végétaux marins.



Figure 28 : Jeunes plants de salicornes et de soude maritime

2-4-2- Historique des labours : Influence de la date et de la fréquence du travail du sol sur la diversité spécifique, le recouvrement spécifique et la croissance des végétaux

Afin de déterminer si les travaux de lutte ont une influence sur la diversité spécifique, des relevés floristiques ont été effectués au sein des concessions de ramasseurs de

végétaux marins. Les points de prélèvements ont été choisis en fonction des dates et du nombre de labours réalisés dans chacune des zones. Ainsi, certains points ont été labourés ponctuellement il y a plusieurs années, d'autres récemment, et d'autres encore ont été régulièrement labourés depuis le début des travaux de lutte contre la spartine anglaise.

Sur chaque point de prélèvement, représentatif de la zone, 3 quadrats de 0,25 m² étaient disposés au hasard et des photographies de chacun d'eux réalisées. Pour chaque quadrat, le nombre d'espèces présentes, leurs tailles moyennes et leurs pourcentages de recouvrement ont été déterminés, le pourcentage de sol nu a également été évalué. Toutes les données ont été consignées sur des fiches terrain. L'ensemble des photographies des quadrats et des données associées est disponible en **Annexe 3**.



Figure 29 : Exemple d'un relevé floristique réalisé à l'aide d'un quadrat de 0,25m²

Ainsi sur la zone de concession qui s'étend entre Saint Valery sur Somme et Le Crotoy, 5 points de prélèvements ont été réalisés (**Figure 30**).

- Point 1 : Labour en 2010
- Point 2 : Labours en 2016 / 2017 / 2018 / 2019
- Point 3 : Labour en 2019
- Point 4 : Labours en 2017 / 2019
- Point 5 : Labours en 2008 / 2009 / 2011 / 2012 / 2014 / 2016 / 2017 / 2019

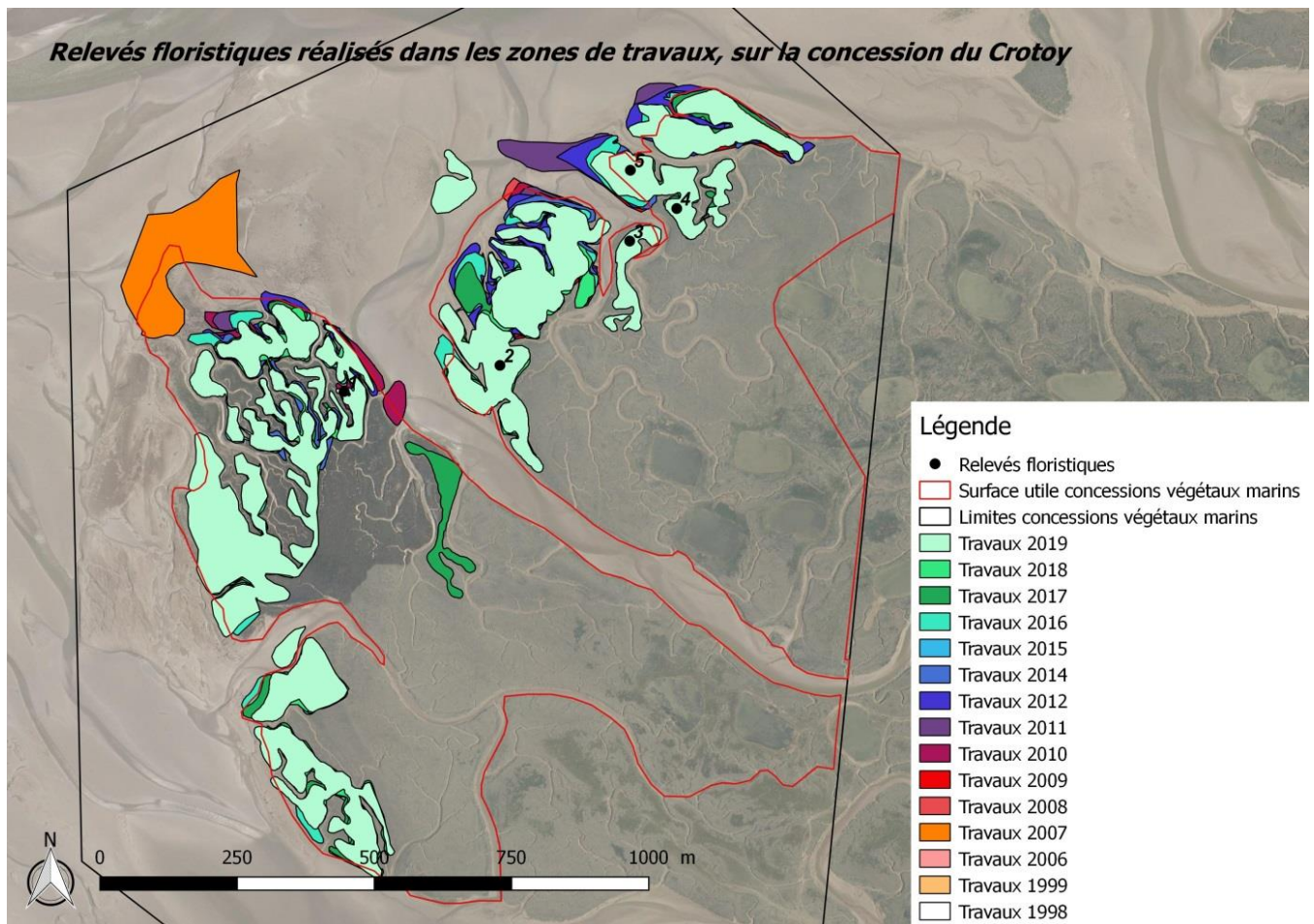


Figure 30 : Localisation des zones labourées entre 1998 et 2019 et relevés floristiques effectués sur les concessions de culture marine entre Le Crotoy et Saint Valery Sur Somme

Ainsi sur la zone de concession qui s'étend entre Saint Valery sur Somme et Le Hourdel, 7 points de prélèvements ont été réalisés (**Figure 31**).

- Point 1 : Labours en 2019
- Point 2 : Labours en 2016 / 2019
- Point 3 : Labours en 2011 / 2012 / 2017 / 2019
- Point 4 : Labours en 2017
- Point 5 : Labours en 2007 / 2009 / 2010 / 2011 / 2012 / 2015 / 2016 / 2017
- Point 6 : Labours en 2007
- Point 7 : Labours en 2007 / 2010

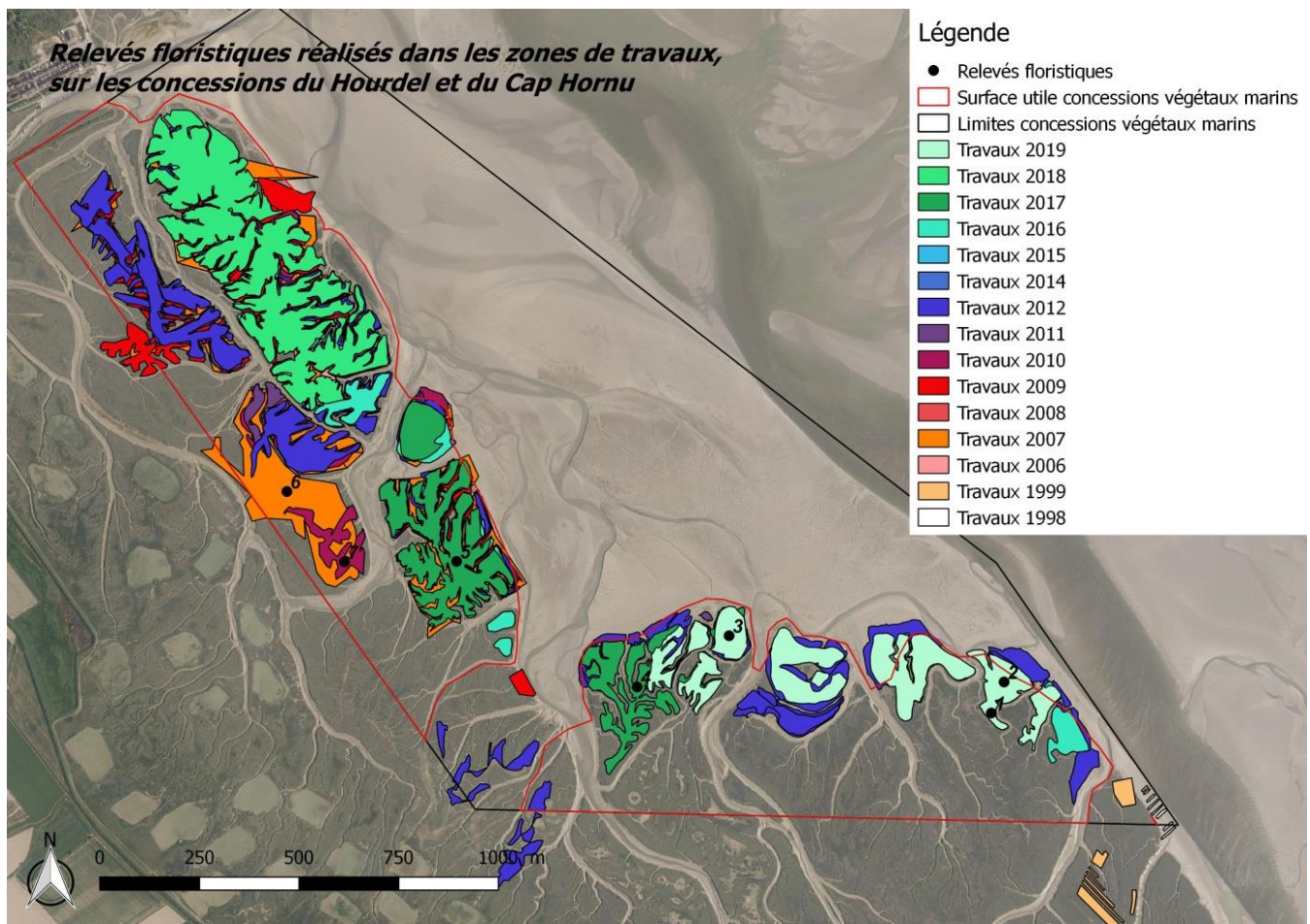


Figure 31 : Localisation des zones labourées entre 1998 et 2019 et relevés floristiques effectués sur les concessions de culture marine entre Le Hourdel et Le Cap Hornu

2-4-3- Labours expérimentaux

Le but de cette expérimentation était de mettre en évidence l'influence de la profondeur et de la date du labour sur la germination et la croissance de la salicorne et de la soude.

Pour cela, des labours ont été réalisés à l'aide d'une bêche, sur des surfaces de 9 m², (3x3 m) sur les sites expérimentaux du Crotoy (**Figure 32** et **Figure 33**) et du Hourdel (**Figure 34** et **Figure 35**) :

- A 3 dates différentes de l'année (décembre, janvier et février)
- A 2 profondeurs différentes (15 cm et 30 cm) auquel s'ajoute une parcelle témoin non labourée et une parcelle où le sol est mis à nu.

La germination et la croissance de la salicorne et de la soude ont été évaluées en fonction des différentes conditions notamment par relevés photographiques, relevés floristiques, mesures de croissance, de diversité spécifique et de densité. Les relevés photographiques sont consultables en **Annexe 4**.

➤ Site expérimental du Crotoy

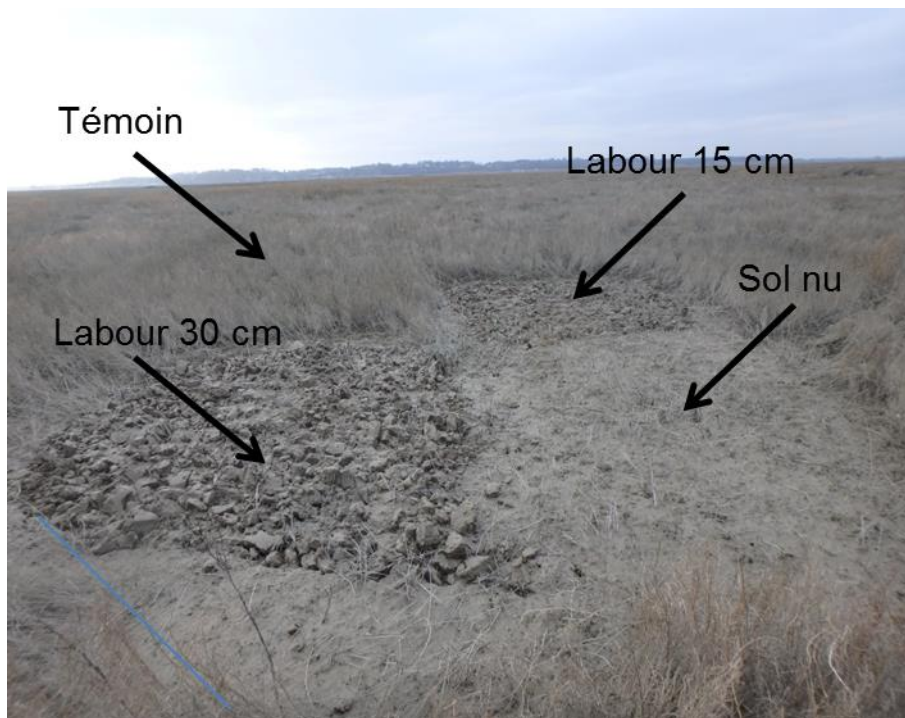


Figure 32 : Labours expérimentaux réalisés au niveau du site du Crotoy

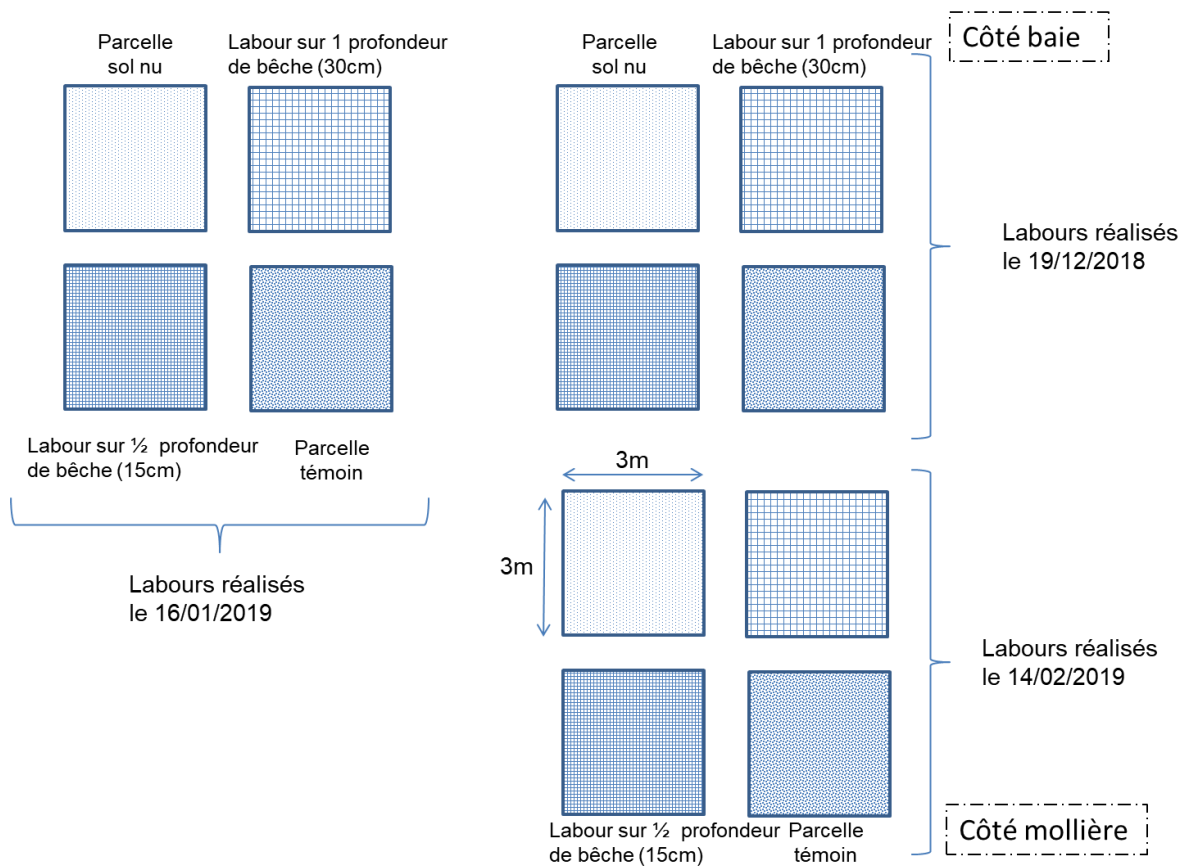


Figure 33 : Plan d'expérimentation des labours expérimentaux sur le site du Crotoy

➤ Site expérimental du Hourdel

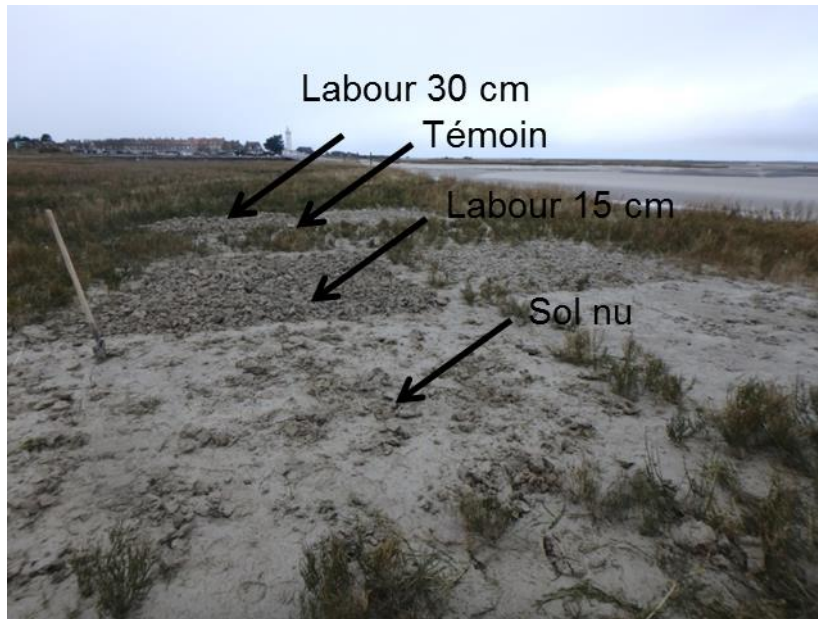


Figure 34 : Labours expérimentaux réalisés au niveau du site du Hourdel

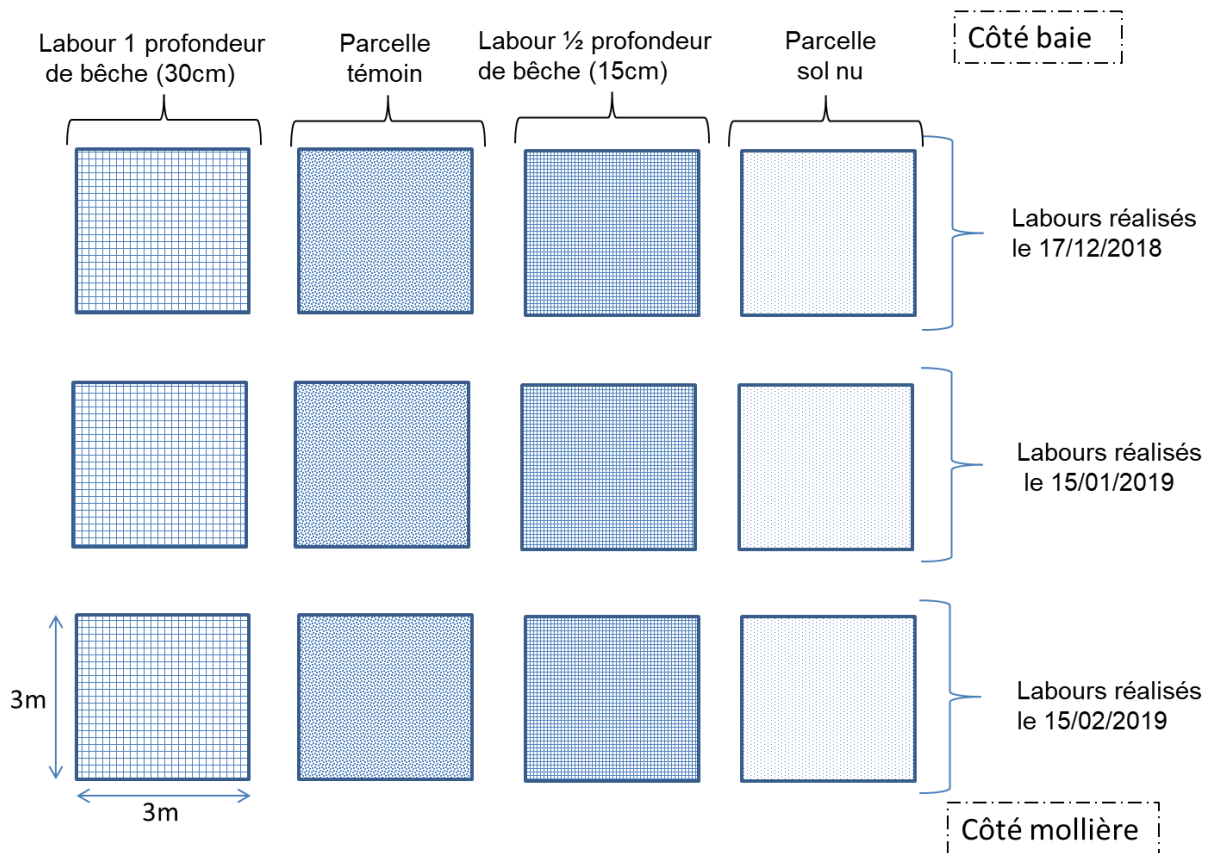


Figure 35 : Plan d'expérimentation des labours expérimentaux sur le site du Hourdel

2-4-3-1- Influence du labour sur la croissance, la densité et la diversité floristique

Le but de cette expérimentation était de déterminer l'influence du labour et notamment la profondeur et la période, sur la germination, la croissance, la densité et la diversité spécifique. Pour cela, des relevés floristiques ont été effectués à l'aide de quadrats sur les parcelles où ont été réalisés les labours expérimentaux.

En pratique, des quadrats de 62,5 cm² ont été placés aléatoirement, sur le sol végétalisé des différentes parcelles expérimentales.

Le quadrat a été photographié et les plantes et plantules ont été prélevées manuellement pour être ensuite comptées et mesurées au laboratoire (**Figure 36**).

L'ensemble des photographies des quadrats et des données associées est disponible en **Annexe 4**.



Figure 36 : Quadrat utilisé pour le relevé floristique avant et après prélèvement des végétaux

2-4-3-2- Influence du labour sur l'enfouissement des graines

Le but de cette expérimentation était de déterminer *in situ* l'influence du labour sur l'enfouissement du stock de graines naturellement présentes dans le sédiment.

Pour cela, des carottages ont été réalisés sur les deux sites d'étude, dans les parcelles où ont été réalisés les labours expérimentaux.

Des carottes de sédiments ont été prélevées en duplicats sur chaque parcelle expérimentale à l'aide de carottiers de 5 cm de diamètre et 20 cm de hauteur (**Figure 37**).

Les carottes ont ensuite été rapportées au laboratoire où elles ont été découpées en 4 tronçons de 4 cm de longueur (1-4 cm / 4-8 cm / 8-12 cm / 12-16 cm). Chaque

tronçon a ensuite été tamisé, les graines présentes ont été comptées et leurs stades de germination déterminés.



Figure 37 : Photographies des carottages réalisés sur le terrain

2-4-4- Expérimentation d'enfouissement de graines

Le but de cette expérimentation était de mettre en évidence l'effet de la profondeur d'enfouissement des graines dans le sédiment (induit par les travaux de lutte contre la spartine anglaise) sur la germination de la salicorne et de la soude maritime. Pour cela, des sacs contenant du sédiment et des graines de salicorne et de soude ont été fixés sur des piquets et enterrés à 3 profondeurs différentes sur les sites d'étude.

Des graines de salicorne et de soude ont été récoltées sur pieds, sur les sites expérimentaux en décembre 2018. Les graines ont été triées à la main au laboratoire, séchées à l'air libre et conservées au réfrigérateur à 4°C.

Du sédiment a été prélevé sur les sites expérimentaux. Il a ensuite été séché, tamisé et passé au four à micro-ondes (3x5 min à 850 W) afin de faire perdre le pouvoir germinatif de toutes graines adventices présentes dans le sédiment et limiter ainsi les biais.

Des petits sacs en tissus perméable à l'air et à l'eau ont été utilisés pour cette expérimentation afin de garantir la germination des graines.

Dans chaque sac, 50g de sédiment sec a été introduit ainsi que 33 graines de soude maritime et 33 graines de salicorne, les sacs ont ensuite été noués de manière à ce que le sédiment ne soit pas tassé (**Figure 38**). Pour des raisons pratiques, les sacs ont été fixés sur des piquets en métal.



Figure 38 : Préparation des sacs contenant du sédiment et des graines de soude maritime et de salicorne

Sur chaque piquet, des sacs en triplicats sont fixés à 3 hauteurs différentes (subsurface, 15 cm, 30 cm), soit 9 sacs par piquet (**Figure 39**).



Figure 39 : Fixation des sacs aux piquets en métal à 3 hauteurs différentes (2cm, 15 cm, 30 cm)

La veille de leur mise en place sur le terrain, les sacs en tissus sont mis à tremper dans de l'eau de mer pendant une nuit afin de réhydrater le sédiment et les graines.

Une tranchée de 30 cm de profondeur a été creusée et les piquets ont été plantés verticalement, les sachets de graines ont été positionnés à 3 profondeurs

(subsurface, 15 cm, 30 cm) et la tranchée a été rebouchée progressivement (*Figure 40*).



Figure 40 : Réalisation d'une tranchée et mise en place des piquets et sacs de graines à 3 profondeurs différentes (subsurface, 15 cm, 30 cm)

Sur chaque site d'étude (Le Crotoy et Le Hourdel), 10 piquets ont été mis en place fin janvier 2019. Les piquets ont été déterrés à intervalles réguliers de mi-février à fin avril 2019 et ramenés au laboratoire. Les sacs ont ensuite été vidés, le sédiment trié et les stades de germination des graines de salicorne et de soude déterminés en fonction de la profondeur d'enfouissement et de la date de prélèvement du piquet (*Figure 41*).

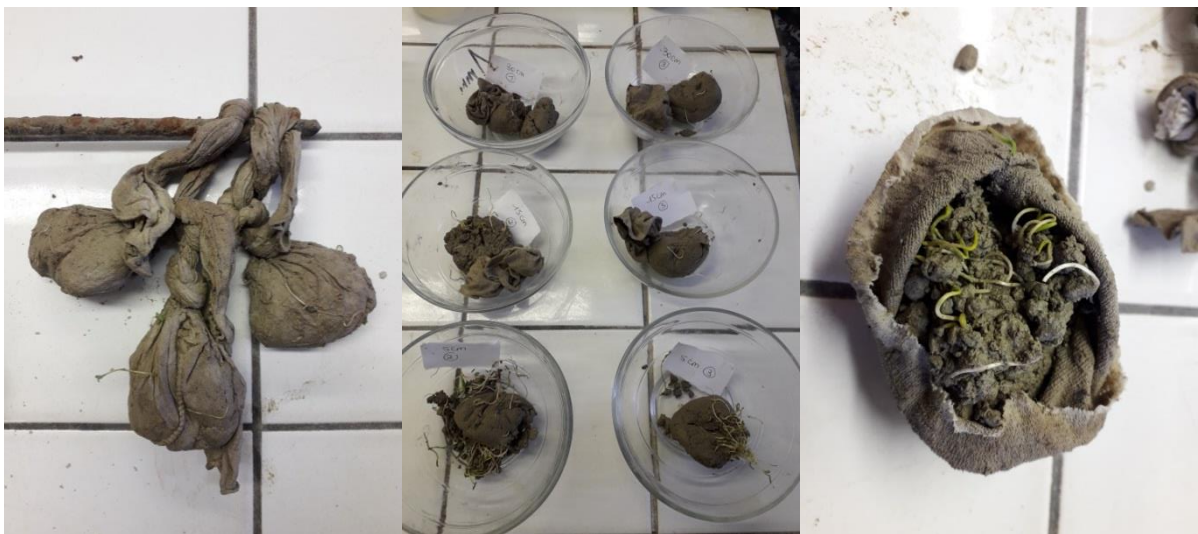


Figure 41 : Prélèvement des piquets enterrés et détermination des stades de germination des graines contenues dans les sacs au laboratoire

2-5- Expérimentations au laboratoire

2-5-1- Influence de la salinité sur la germination de la salicorne et de la soude

Le but de cette expérimentation était de mettre en évidence l'influence de la salinité sur la germination des graines de salicorne et de soude maritime. Pour cela, des graines de salicorne et de soude, ont été mises à germer selon un gradient de salinité.

Des graines de salicorne et de soude ont été récoltées sur pieds, sur les sites expérimentaux en décembre 2018. Les graines ont été triées à la main au laboratoire, séchées à l'air libre et conservées au réfrigérateur à 4°C.

Des solutions de salinités différentes ont été réalisées à l'aide d'eau de mer prélevée en baie de Somme. Suite à des recherches bibliographiques (Grouzis *et al.*, 1976 ; Ungar 1973 et 1977 ; Langlois, 2000 ; Orlovsky *et al.*, 2016) et des expérimentations préalables au laboratoire, le choix des salinités s'est porté sur 0 PSU, 1,5 PSU et 3 PSU.

Pour des raisons pratiques, des microplaques 48 puits ont été utilisées, chaque puits contenant une graine de salicorne ou de soude et 200 µL d'une solution d'eau de mer plus ou moins diluée. Pour chaque condition (salinité), 2 microplaques ont été utilisées, soit un total de 96 graines (*Figure 42*).

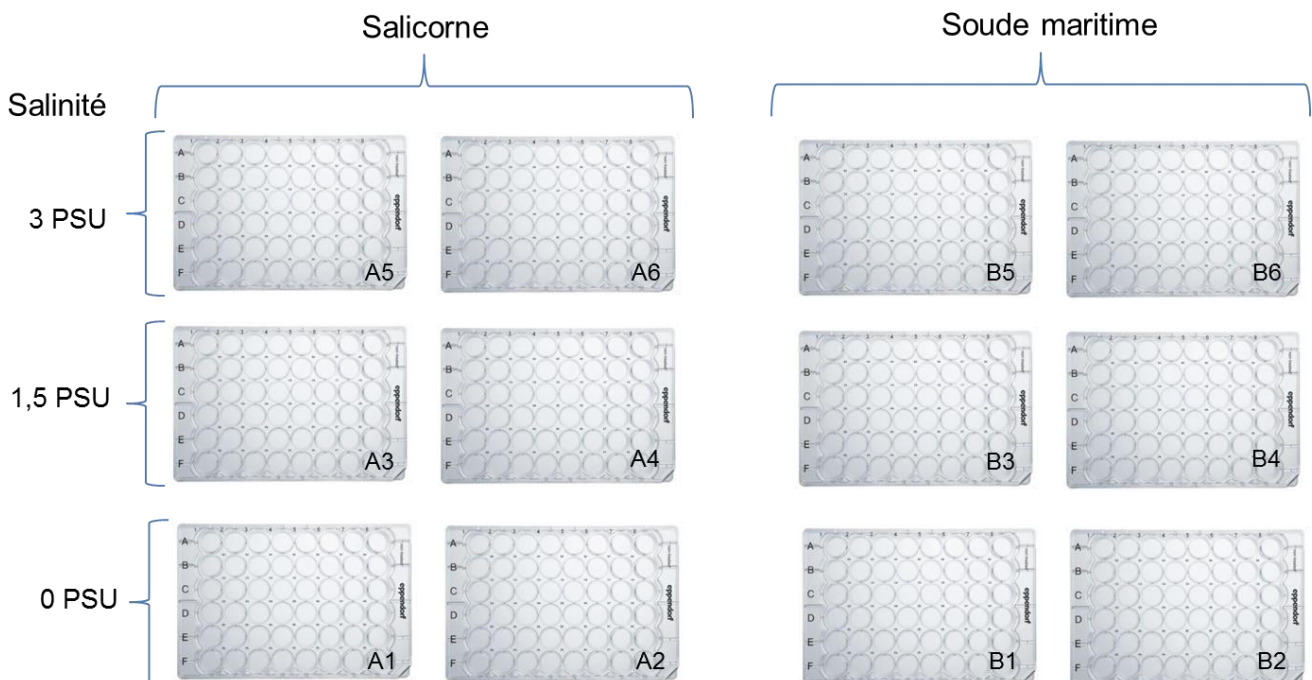


Figure 42 : Plan d'expérimentation de l'expérimentation influence de la salinité sur la germination des graines de salicorne et de soude maritime

Les microplaques ont ensuite été refermées à l'aide d'un couvercle (laissant passer l'air mais limitant l'évaporation de l'eau) et placées dans des mini-serres au laboratoire avec une photopériode de 12h/12h et une thermo-période de 20°C jour/13°C nuit. L'évolution de la germination des graines a été suivie, les stades de germination des graines ont été déterminés et des photographies ont été réalisées (*Figure 43*).

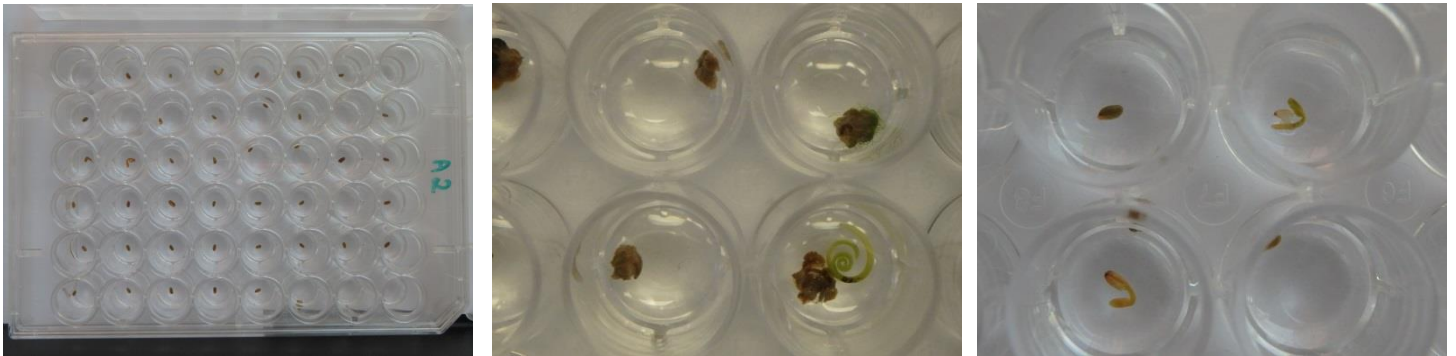


Figure 43 : Germination des graines en microplaques, graines de salicorne (photographie centrale) et de soude maritime (photographie de droite)

2-5-2- Influence de la profondeur d'enfouissement des graines de salicorne et de soude sur leur germination

Le but de cette expérimentation était de mettre en évidence l'effet de la profondeur d'enfouissement des graines dans le sédiment sur la germination des graines de salicorne et de soude maritime.

Pour cela, des graines de salicorne et de soude ont été enterrées à 3 profondeurs différentes (1 cm / 5 cm /10 cm) et mises à germer en conditions optimales au laboratoire.

Des graines de salicorne et de soude ont été récoltées sur pieds, sur les sites expérimentaux en décembre 2018. Les graines ont été triées à la main au laboratoire, séchées à l'air libre et conservées au réfrigérateur à 4°C.

Du sédiment a été prélevé sur les sites expérimentaux, il a ensuite été séché, tamisé et passé au four à micro-ondes (3x5 min à 850 W) afin de faire perdre le pouvoir germinatif de toutes graines adventices présentes dans le sédiment et limiter ainsi les biais. Des pots en plastique (11 cm en hauteur, 11 cm de diamètre) ont été utilisés pour cette expérimentation (*Figure 44*).

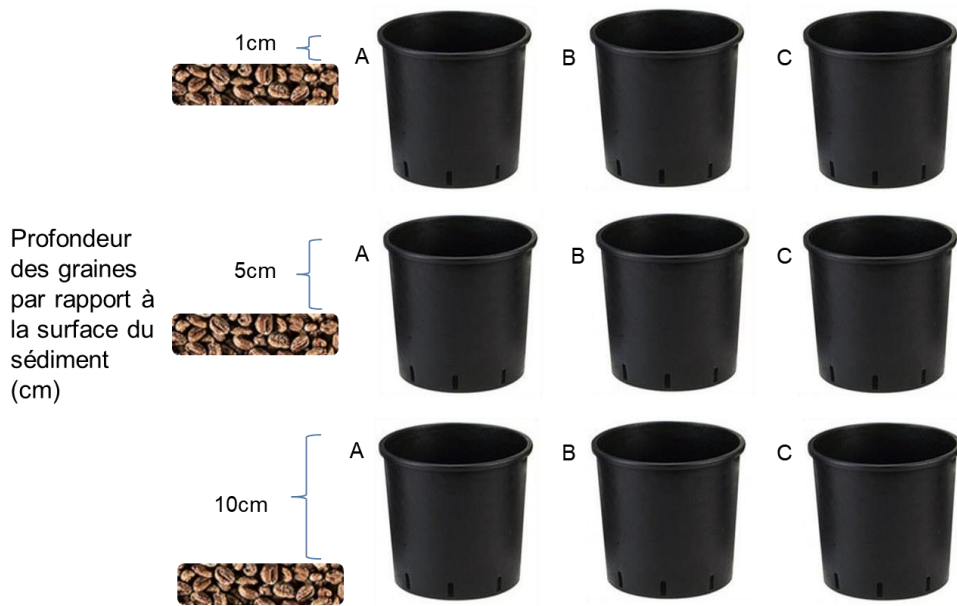


Figure 44 : Plan d'expérimentation de l'expérimentation influence de la profondeur d'enfouissement des graines sur la germination de la salicorne et de la soude

Le sédiment a été réhumidifié avec de l'eau à 0,5 PSU et placé dans les pots, les graines de salicorne et de soude ont été placées dans le sédiment à différentes profondeurs par rapport à la surface du sédiment (1 cm / 5 cm / 10 cm). Pour chaque espèce, trente graines ont été utilisées par profondeurs et 3 réplicats ont été réalisés (soit 90 graines par condition) (**Figure 45**).



Figure 45 : Préparation de l'expérimentation : remplissage des pots avec du sédiment et enfouissement des graines à différentes profondeurs

Les pots en plastique contenant le sédiment et les graines ont ensuite été placés au laboratoire dans des mini-serres avec une photopériode de 12h/12h et une thermo-période de 20°C jour/13°C nuit (**Figure 46**). Le sédiment a été régulièrement humidifié et l'évolution de la germination des graines a été suivie. Les graines germées ont été comptées et les plantules mesurées.



Figure 46 : Suivi de l'évolution de la germination et de la croissance des graines de salicorne et de soude maritime

3- Résultats

Les données ont été analysées à l'aide de tests statistiques en utilisant le logiciel XLSTAT :

- Les tests de Lilliefors et de Shapiro-Wilk ont été utilisés pour tester l'hypothèse selon laquelle les données suivaient une loi Normale.
- Le test de Levene a été utilisé pour tester l'hypothèse selon laquelle les variances étaient homogènes.
- Le test non paramétrique de Wilcoxon-Mann-Whitney a été utilisé comme une alternative au test t pour des échantillons appariés, il permet de tester une hypothèse sur la médiane d'une distribution de la population.
- Le test non paramétrique de Kruskal-Wallis a été utilisé comme une alternative à l'ANOVA, il permet de comparer plusieurs échantillons et de tester l'hypothèse nulle selon laquelle les échantillons sont issus de la même distribution ou de la même médiane.
- Le test post hoc de Dunn, ou test de comparaisons multiples a été utilisé pour déterminer les différences significatives entre les moyennes des groupes dans une analyse de variance.

3-1- Données météorologiques

➤ Décembre 2018

Le suivi des températures et des précipitations au mois de décembre est présenté dans la **Figure 47**. Au mois de décembre 2018, les températures ont varié de - 3 °C à 14,9°C, la température minimale moyenne était de 4,7°C et la température maximale moyenne de 9,3°C. Les précipitations cumulées ont atteint 118,3 mm. La durée d'ensoleillement moyenne était de 1,44 heure et la durée d'ensoleillement cumulée de 44,6 heures (**Figure 48**). Pour comparaison, entre 1973 et 2018 la température minimale moyenne en décembre était de 4,24°C, la température maximale moyenne de 5,54°C et la moyenne des précipitations de 94,9 mm. Entre 1999 et 2018, la durée d'ensoleillement moyenne en décembre était de 57,3 heures.

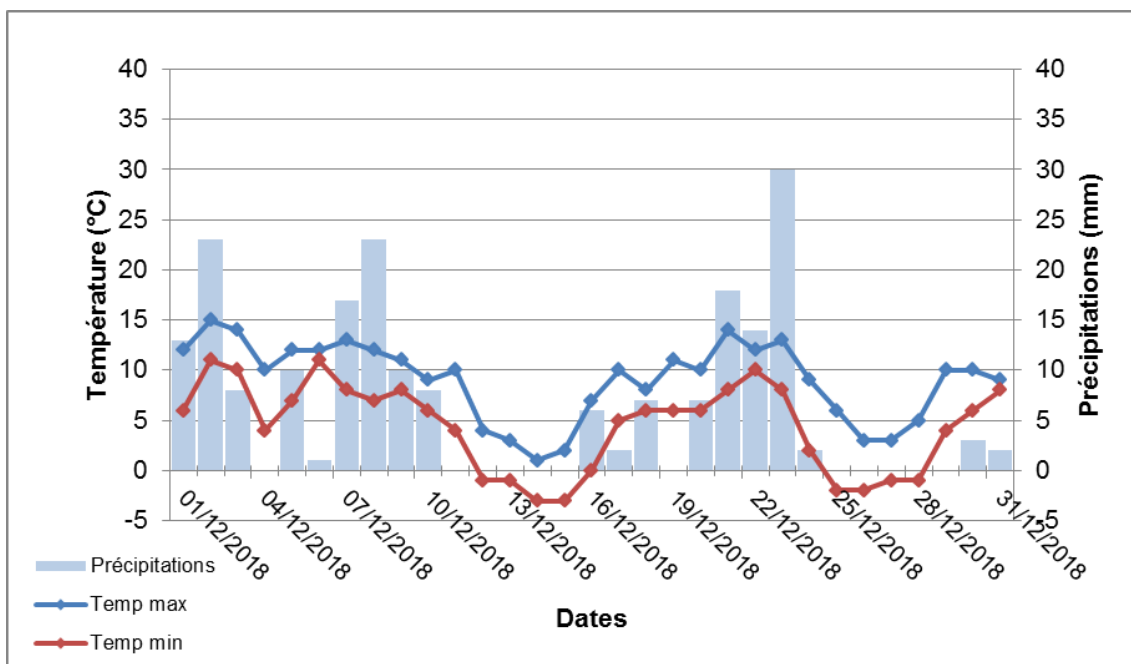


Figure 47 : Températures minimales et maximales (°C) et précipitations (mm) mesurées en baie de Somme en décembre 2018

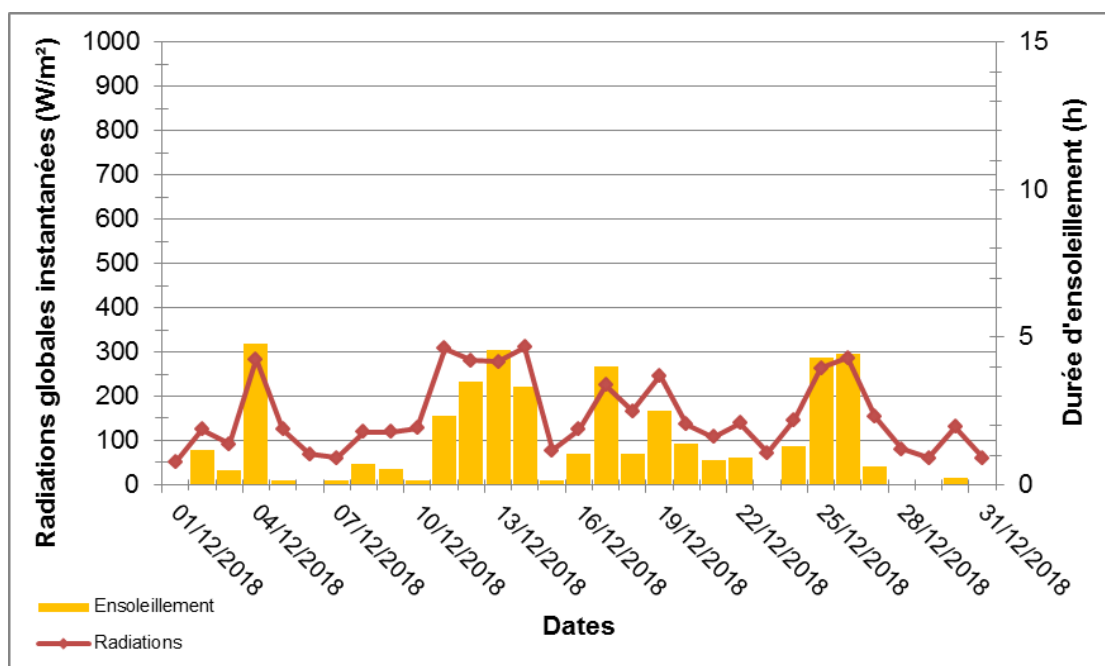


Figure 48 : Durée d'ensoleillement (heures) et radiations globales instantanées (W/m²) mesurées en baie de Somme en décembre 2018 (données infoclimat.fr - station d'Abbeville)

➤ **Janvier 2019**

Le suivi des températures et des précipitations au mois de janvier est présenté dans la **Figure 49**. Au mois de janvier 2019, les températures ont varié de - 5,8°C à 10,6°C, la température minimale moyenne était de 1,97°C et la température maximale moyenne de 6,31°C. Les précipitations cumulées ont atteint 46,4 mm. La durée d'ensoleillement moyenne était de 1,19 heure et la durée d'ensoleillement cumulée

de 36,9 heures (*Figure 50*). Pour comparaison, entre 1973 et 2018 la température minimale moyenne en janvier était de 3,42°C, la température maximale moyenne de 5,06°C et la moyenne des précipitations de 74,38 mm. Entre 1999 et 2018, la durée d'ensoleillement moyenne était de 64,3 heures.

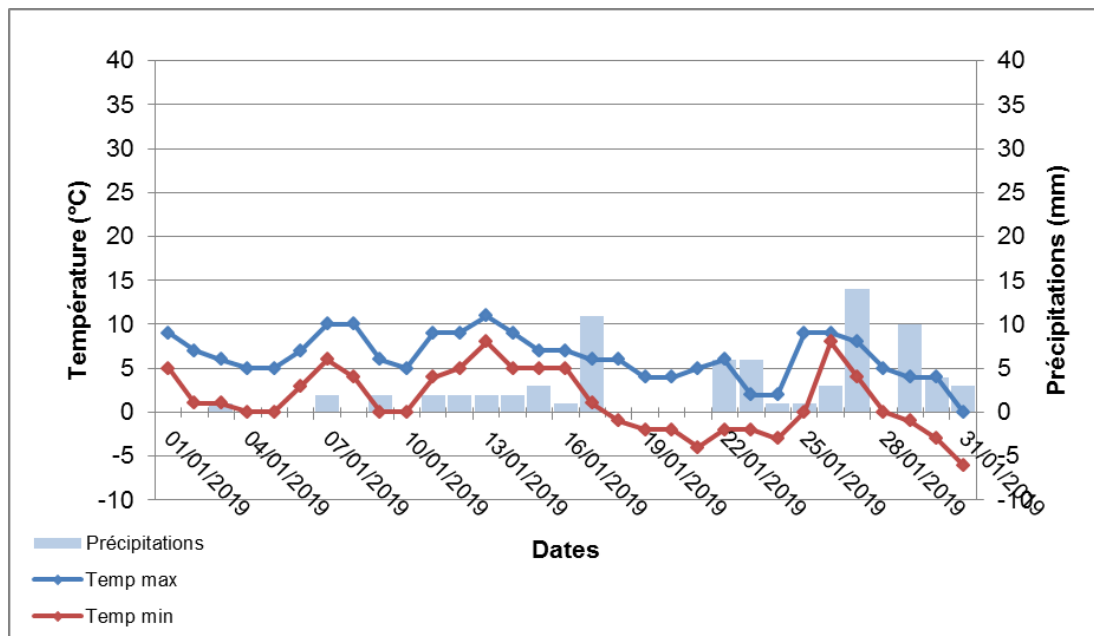


Figure 49 : Températures minimales et maximales (°C) et précipitations (mm) mesurées en baie de Somme en janvier 2019

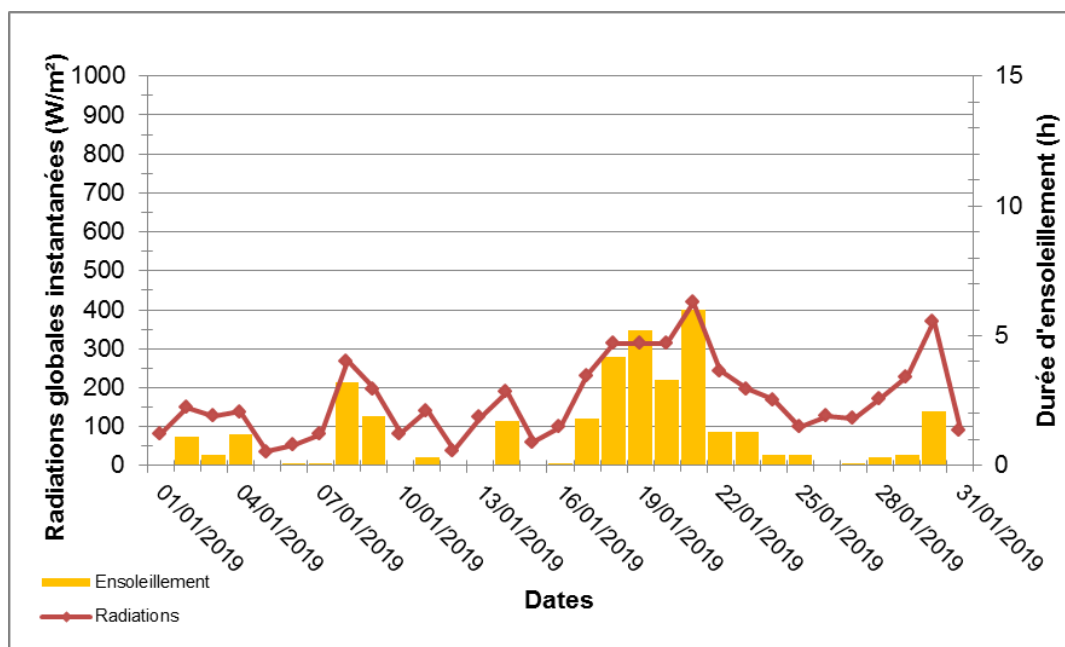


Figure 50 : Durée d'ensoleillement (heures) et radiations globales instantanées (W/m²) mesurées en baie de Somme en janvier 2019 (données infoclimat.fr - station d'Abbeville)

➤ Février 2019

Le suivi des températures et des précipitations au mois de février est présenté dans la **Figure 51**. Au mois de février 2019, les températures ont varié de - 0,4°C à 18°C, la température minimale moyenne était de 3,1°C et la température maximale moyenne de 11,5°C. Les précipitations cumulées ont atteint 35,8 mm. La durée d'ensoleillement moyenne était de 5 heures et la durée d'ensoleillement cumulée de 140,4 heures (**Figure 52**). Pour comparaison, entre 1973 et 2018 la température minimale moyenne en février était de 3,69°C, la température maximale moyenne de 5,03°C et la moyenne des précipitations de 55,75 mm. Entre 1999 et 2018, la durée d'ensoleillement moyenne était de 85,1 heures.

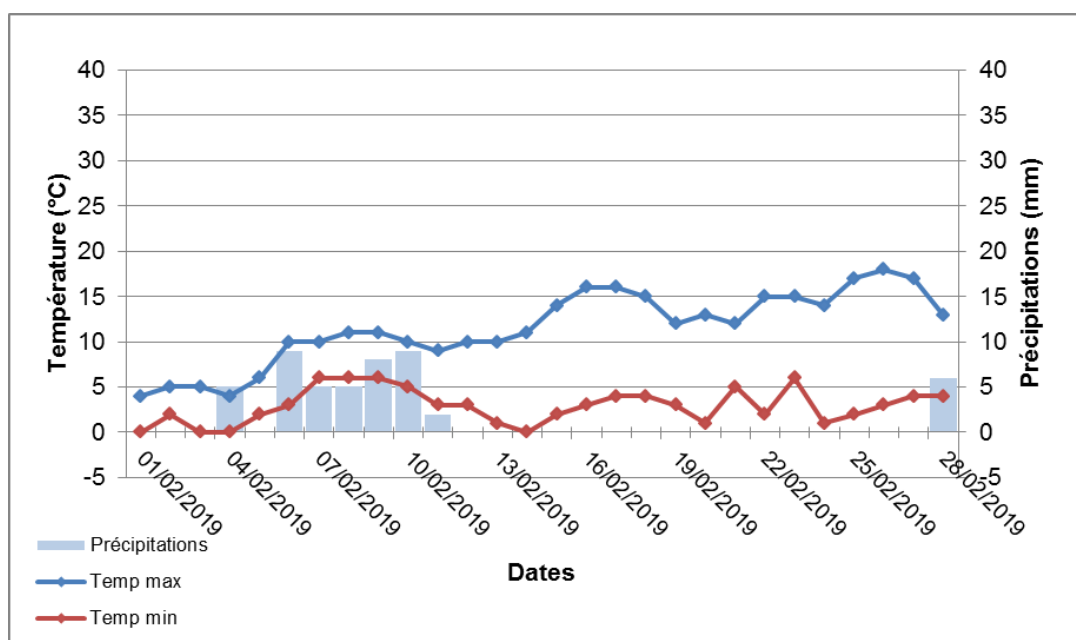


Figure 51 : Températures minimales et maximales (°C) et précipitations (mm) mesurées en baie de Somme en février 2019

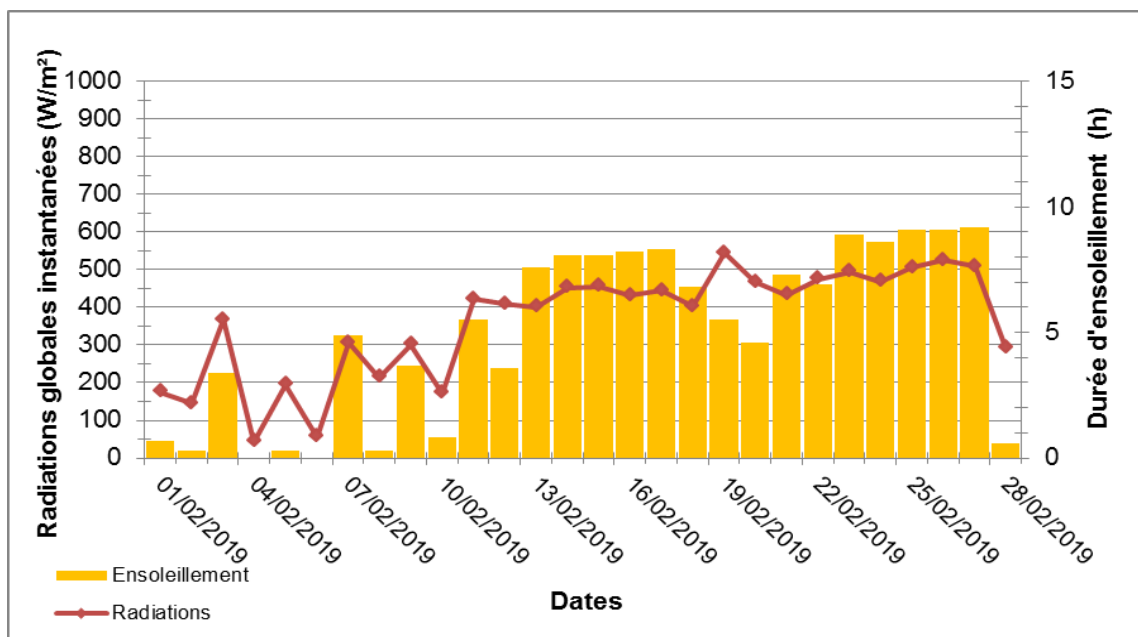


Figure 52 : Durée d'ensoleillement (heures) et radiations globales instantanées (W/m²) mesurées en baie de Somme en février 2019 (données infoclimat.fr - station d'Abbeville)

➤ **Mars 2019**

Le suivi des températures et des précipitations au mois de mars est présenté dans la **Figure 53**. Au mois de mars 2019, les températures ont varié de 1,5°C à 20,4°C, la température minimale moyenne était de 6,13°C et la température maximale moyenne de 11,97°C. Les précipitations cumulées ont atteint 56 mm. La durée d'ensoleillement moyenne était de 3,65 heures et la durée d'ensoleillement cumulée de 113,2 heures (**Figure 54**). Pour comparaison, entre 1973 et 2018 la température minimale moyenne en mars était de 6,38°C, la température maximale moyenne de 7,47°C et la moyenne des précipitations de 63,63 mm. Entre 1999 et 2018, la durée d'ensoleillement moyenne était de 133 heures.

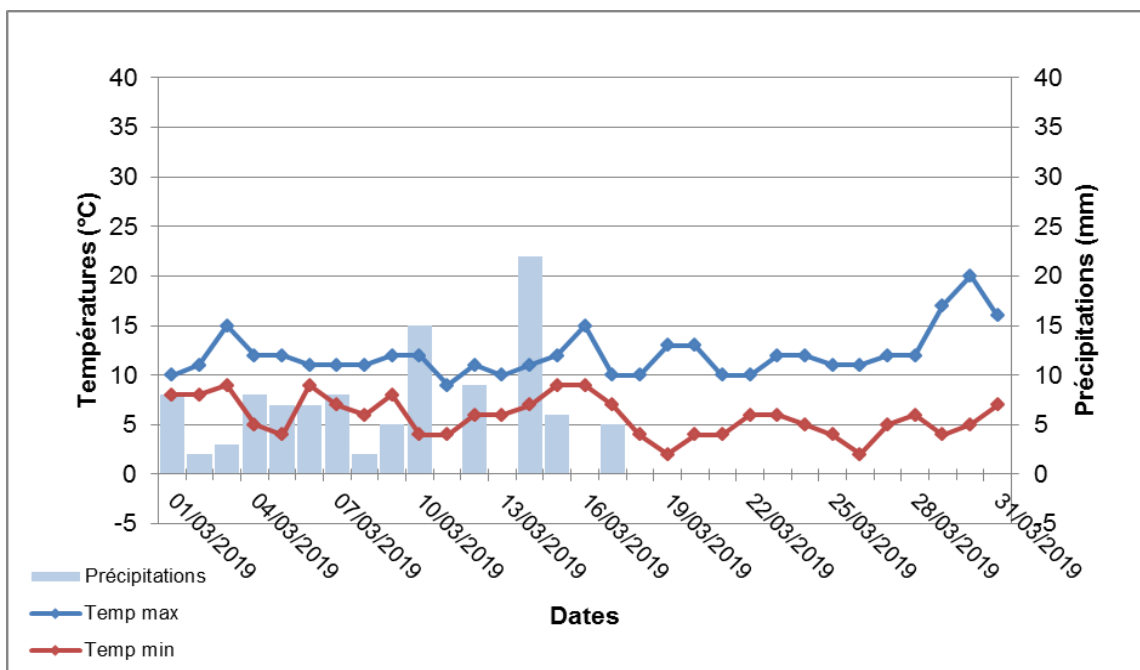


Figure 53 : Températures minimales et maximales (°C) et précipitations (mm) mesurées en baie de Somme en mars 2019

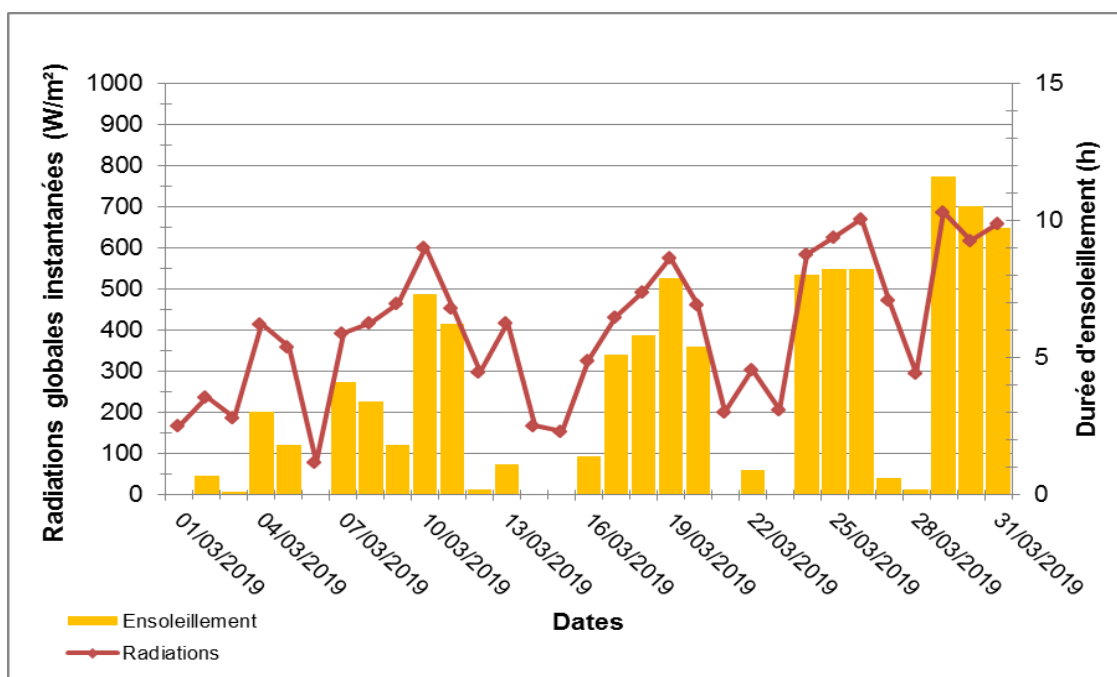


Figure 54 : Durée d'ensoleillement (heures) et radiations globales instantanées (W/m²) mesurées en baie de Somme en mars 2019 (données infoclimat.fr - station d'Abbeville)

➤ **Avril 2019**

Le suivi des températures et des précipitations au mois d'avril est présenté dans la **Figure 55**. Au mois d'avril 2019, les températures ont varié de - 2,1°C à 25,2 °C, la température minimale moyenne était de 5,49°C et la température maximale moyenne

de 15,39°C. Les précipitations cumulées ont atteint 39,6 mm. La durée d'ensoleillement moyenne était de 6,38 heures et la durée d'ensoleillement cumulée de 191,4 heures (**Figure 56**). Pour comparaison, entre 1973 et 2018 la température minimale moyenne en avril était de 8,7°C, la température maximale moyenne de 9,56°C et la moyenne des précipitations de 54,48 mm. Entre 1999 et 2018, la durée d'ensoleillement moyenne était de 187,96 heures.

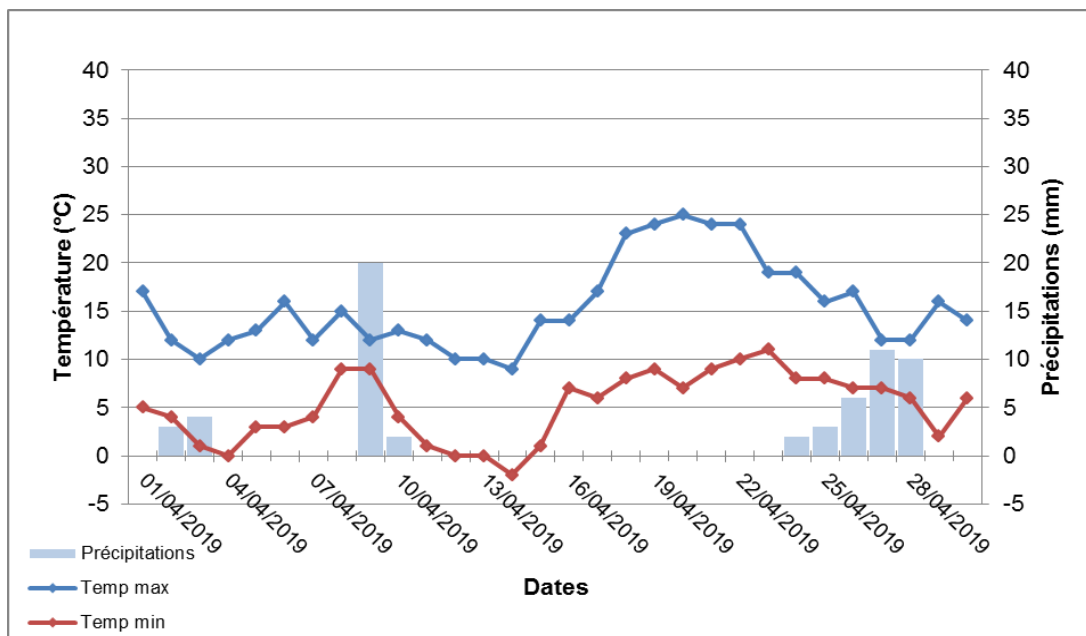


Figure 55 : Températures minimales et maximales (°C) et précipitations (mm) mesurées en baie de Somme en avril 2019

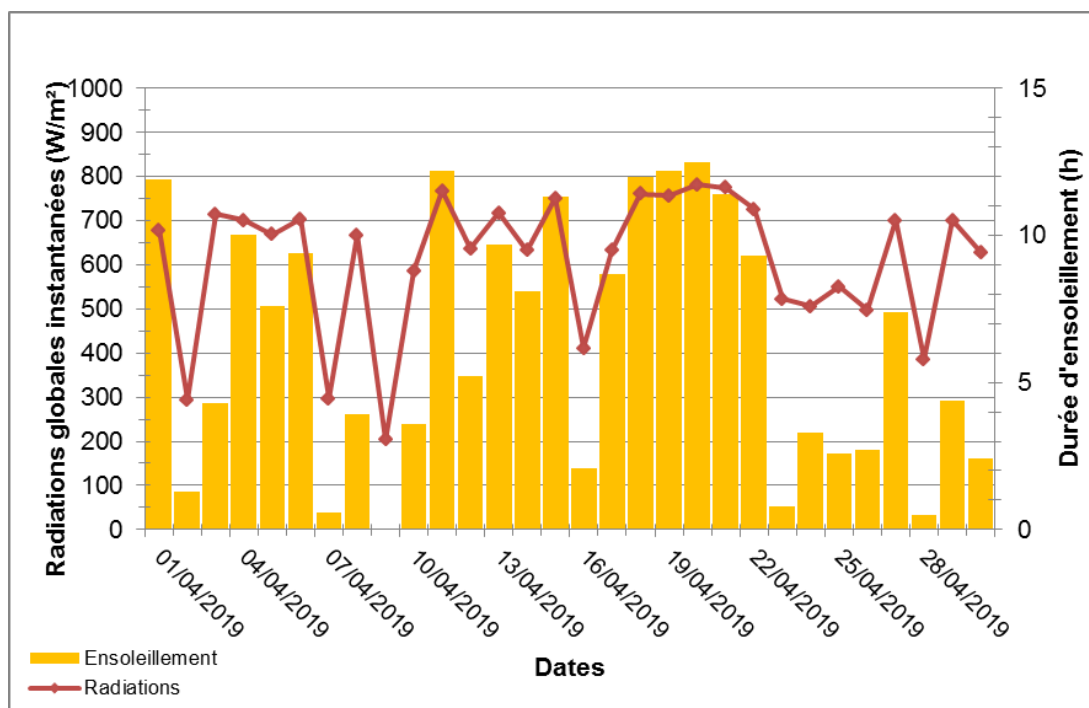


Figure 56 : Durée d'ensoleillement (heures) et radiations globales instantanées (W/m²) mesurées en baie de Somme en avril 2019 (données infoclimat.fr - station d'Abbeville)

➤ **Mai 2019**

Le suivi des températures et des précipitations au mois de mai est présenté dans la **Figure 57**. Au mois de mai 2019, les températures ont varié de 1,8°C à 23,4°C, la température minimale moyenne était de 7,75°C et la température maximale moyenne de 17,15°C. Les précipitations cumulées ont atteint 23,8 mm. La durée d'ensoleillement moyenne était de 6,92 heures et la durée d'ensoleillement cumulée de 214,4 heures (**Figure 58**). Pour comparaison, entre 1973 et 2018 la température minimale moyenne en mai était de 12,06°C, la température maximale moyenne de 13,05°C et la moyenne des précipitations de 66,1 mm. Entre 1999 et 2018, la durée d'ensoleillement moyenne était de 195,95 heures.

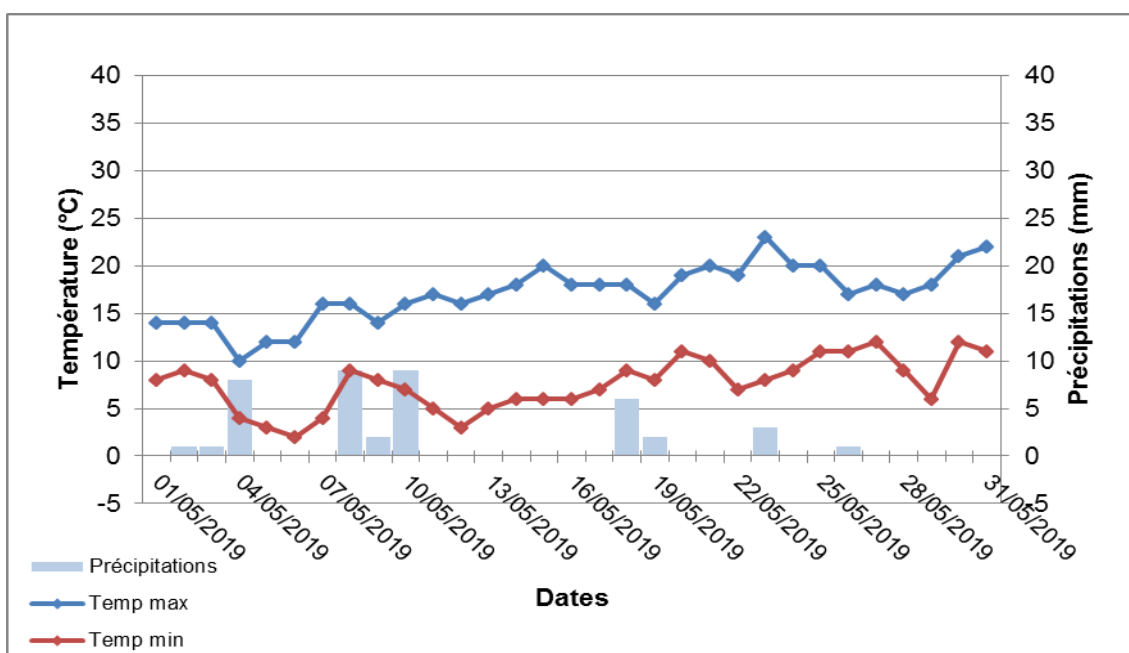


Figure 57 : Températures minimales et maximales (°C) et précipitations (mm) mesurées en baie de Somme en mai 2019

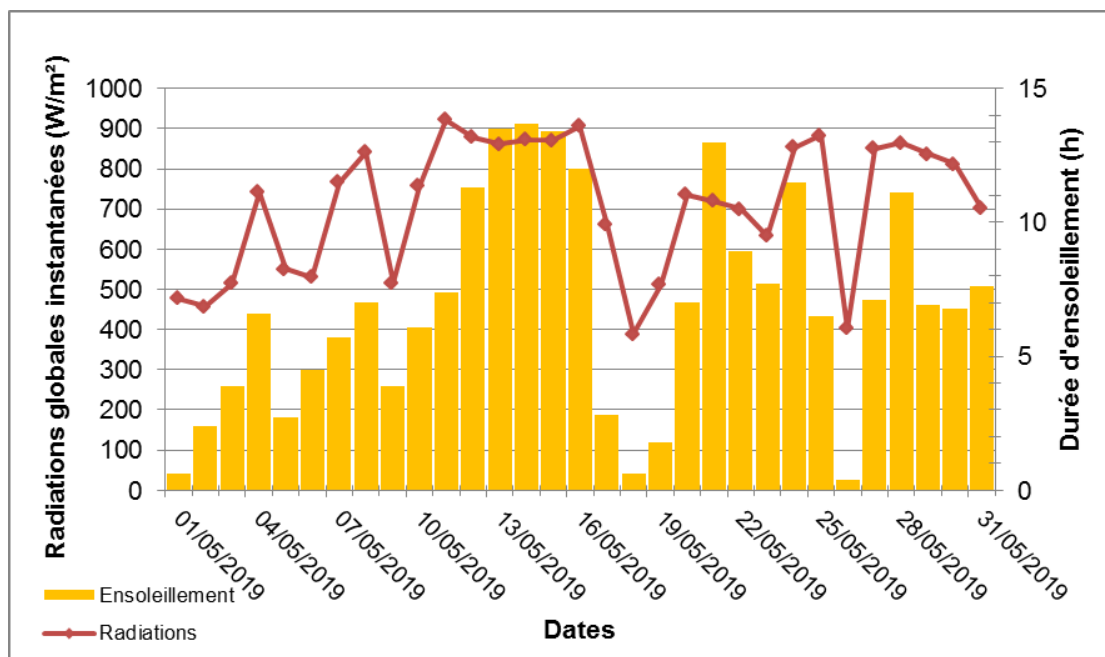


Figure 58 : Durée d'ensoleillement (heures) et radiations globales instantanées (W/m²) mesurées en baie de Somme en mai 2019 (données infoclimat.fr - station d'Abbeville)

➤ Juin 2019

Le suivi des températures et des précipitations au mois de juin est présenté dans la [Figure 59](#). Au mois de juin 2019, les températures ont varié de 7,6°C à 34°C, la température minimale moyenne était de 12,43°C et la température maximale moyenne de 22,56°C. Les précipitations cumulées ont atteint 60,6 mm. La durée d'ensoleillement moyenne était de 8,23 heures et la durée d'ensoleillement cumulée de 246,8 heures ([Figure 60](#)). Pour comparaison, entre 1973 et 2018 la température minimale moyenne en juin était de 15,61°C, la température maximale moyenne de 15,61 °C et la moyenne des précipitations de 70,46 mm. Entre 1999 et 2018, la durée d'ensoleillement moyenne était de 212 heures.

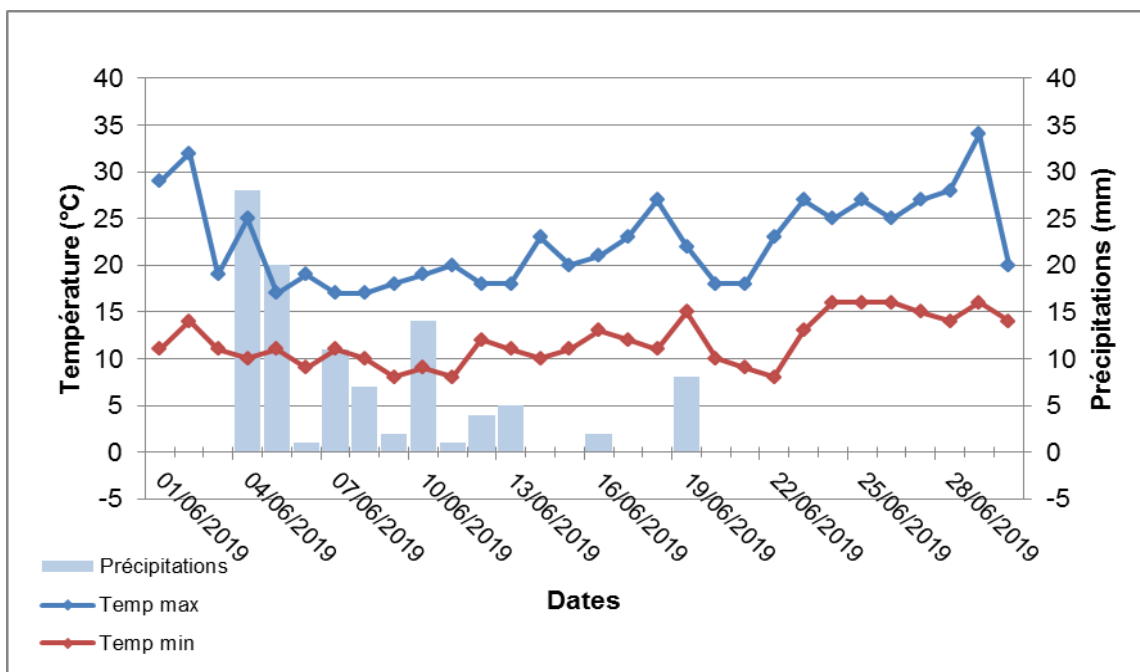


Figure 59 : Températures minimales et maximales (°C) et précipitations (mm) mesurées en baie de Somme en juin 2019

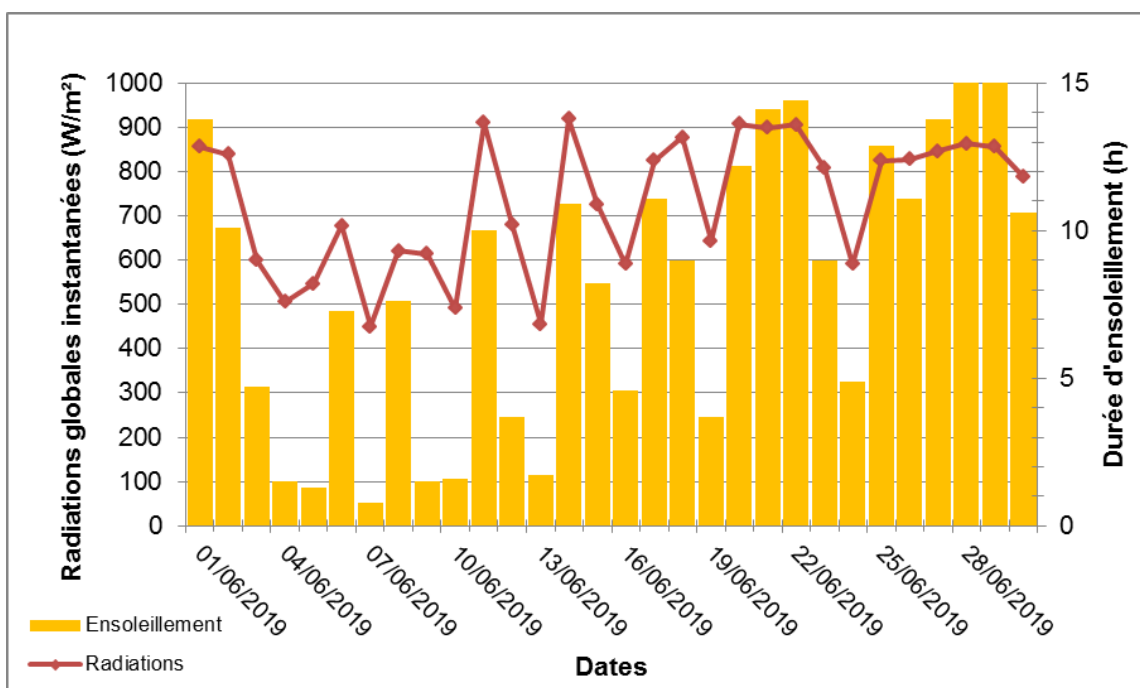


Figure 60 : Durée d'ensoleillement (heures) et radiations globales instantanées (W/m²) mesurées en baie de Somme en juin 2019 (données infoclimat.fr - station d'Abbeville)

3-2- Caractérisation des sites

3-2-1- Granulométrie et teneur en matière organique

➤ Site du Crotoy

Les caractéristiques granulométriques du site du Crotoy sont présentées dans la **Figure 61** et le **Tableau 2**.

Les sédiments sont constitués de sables fins (83,8 %) et de sables moyens (3,8 %). Les particules fines (pélites ou vases < 0,063 mm) représentent 9,5 % du poids total du sédiment. La médiane (grain moyen) est de 0,09 mm et l'indice de Trask de 1,31 indique que le sédiment est bien classé. Le % de matière organique est important (5,27 % ; **Tableau 2**).

La classification de Folk permet de décrire le sédiment à travers 15 catégories. Dans cette classification, les sédiments sont regroupés en 3 types : vases, sables et graviers. Cette distinction se fait sur la base du diamètre des grains aux limites entre la vase et le sable (63 µm) et entre le sable et le gravier (2 mm). La proportion relative des grains dans chacune des catégories est utilisée pour décrire le sédiment et peut être reportée sur un diagramme appelé « triangle de Folk ». Les noms attribués à chaque entrée correspondent aux croisements d'un tableau à double entrée.

D'après cette classification de Folk, le sédiment prélevé sur le site expérimental du Crotoy appartient aux vases.

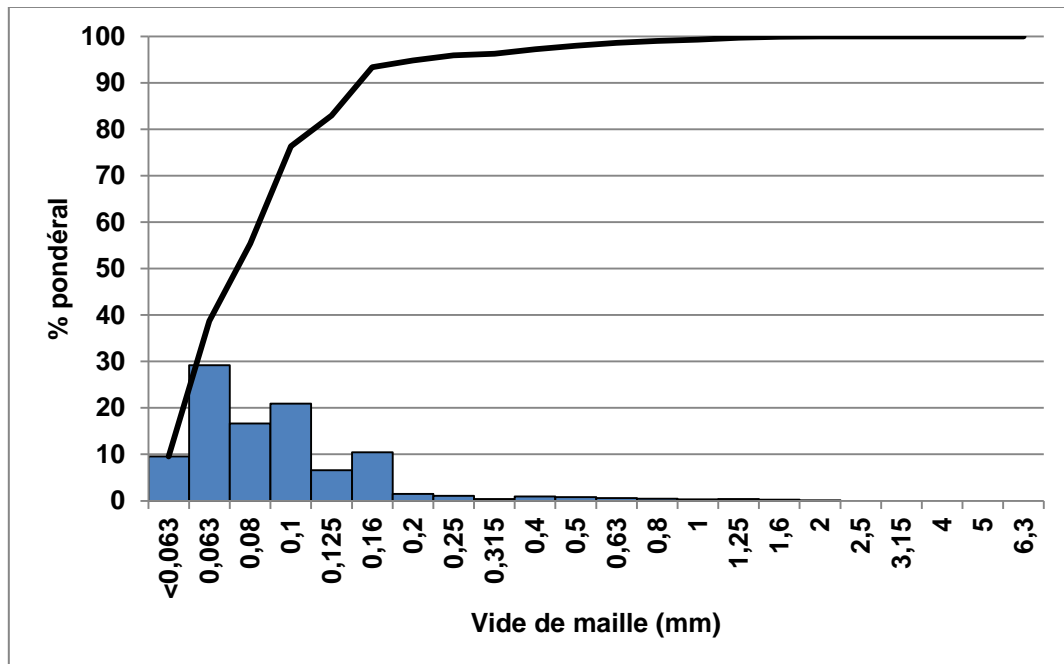


Figure 61 : Composition granulométrique du site du Crotoy. En bleu, le pourcentage par tamis, en noir, le pourcentage cumulé

Tableau 2 : Composition granulométrique du sédiment du site du Crotoy

		Maille carrée (mm)	Poids Sec (g)	% pondéral (g)	Cumul en %
SITE	CROTOY	< 0,063	7,55	9,55	9,55
		0,063	23,07	29,18	38,73
DATE :	06/2019	0,08	13,17	16,66	55,40
		0,1	16,56	20,95	76,34
		0,125	5,23	6,62	82,96
FINES %	9,55	0,16	8,23	10,41	93,37
SABLES FINS %	83,82	0,2	1,16	1,47	94,84
SABLES MOYENS %	3,86	0,25	0,84	1,06	95,90
SABLES GROSSIERS %	2,67	0,315	0,3	0,38	96,28
GRAVIERS FINS %	0,10	0,4	0,75	0,95	97,23
GRAVIERS GROSSIERS %	0,00	0,5	0,61	0,77	98,00
		0,63	0,48	0,61	98,61
		0,8	0,33	0,42	99,03
Q1 :	0,07	1	0,23	0,29	99,32
Q2 (médiane) :	0,09	1,25	0,29	0,37	99,68
Q3 :	0,12	1,6	0,17	0,22	99,90
		2	0,08	0,10	100,00
		2,5	0	0,00	100,00
		3,15	0	0,00	100,00
		4	0	0,00	100,00
Matière organique (%)	5,27	5	0	0,00	100,00
		6,3	0	0,00	100,00

➤ **Site du Hourdel**

Les caractéristiques granulométriques du site du Hourdel sont présentées dans la **Figure 62** et **Tableau 3**.

Les sédiments sont constitués de sables fins (85,6 %) et de sables moyens (9,1 %). Les particules fines (pélites ou vases < 0,063 mm) représentent 4,3 % du poids total du sédiment. La médiane (grain moyen) est de 0,12 mm et l'indice de Trask de 1,30 indique que le sédiment est bien classé. Le % de matière organique est important (2,54 % ; **Tableau 3**).

D'après cette classification de Folk, le sédiment prélevé sur le site expérimental du Hourdel appartient aux vases sableuses.

Le sédiment du site expérimental du Hourdel apparaît donc moins vaseux et moins riche en matière organique que le site expérimental du Crotoy.

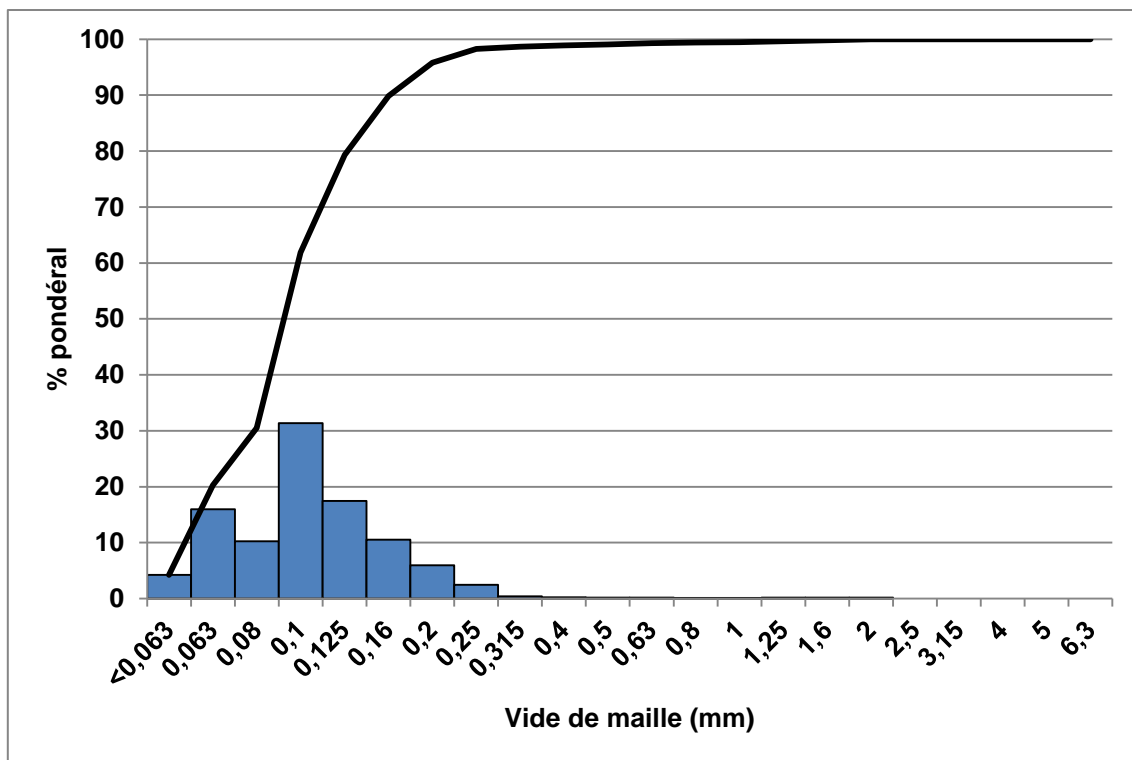


Figure 62 : Composition granulométrique du site du Hourdel. En bleu, le pourcentage par tamis, en noir, le pourcentage cumulé

Tableau 3 : Composition granulométrique du sédiment du site du Hourdel

		Maille carrée (mm)	Poids Sec (g)	% pondéral (g)	Cumul en %
SITE	HOURDEL	< 0,063	5,11	4,26	4,26
DATE :	06/2019	0,063	19,18	15,98	20,23
		0,08	12,32	10,26	30,50
		0,1	37,65	31,36	61,86
		0,125	20,95	17,45	79,32
FINES %	4,26	0,16	12,64	10,53	89,85
SABLES FINS %	85,59	0,2	7,12	5,93	95,78
SABLES MOYENS %	9,06	0,25	2,99	2,49	98,27
SABLES GROSSIERS %	0,91	0,315	0,46	0,38	98,65
GRAVIERS FINS %	0,18	0,4	0,31	0,26	98,91
GRAVIERS GROSSIERS %	0,00	0,5	0,22	0,18	99,09
		0,63	0,21	0,17	99,27
		0,8	0,14	0,12	99,38
Q1 :	0,09	1	0,13	0,11	99,49
Q2 (médiane) :	0,12	1,25	0,20	0,17	99,66
Q3 :	0,15	1,6	0,19	0,16	99,82
		2	0,22	0,18	100,00
		2,5	0,00	0,00	100,00
		3,15	0,00	0,00	100,00
		4	0,00	0,00	100,00
Matière organique (%)	2,54	5	0,00	0,00	100,00
		6,3	0,00	0,00	100,00

3-3- Expérimentations sur le terrain

3-3-1- Mesures de croissance de la salicorne et de la soude

La mesure des plants de salicorne en zone labourée et non labourée sur le site du Crotoy a été réalisée de mi-février à mi-juin, les résultats sont présentés dans la **Figure 63**. A la mi-avril, la hauteur moyenne de la salicorne était de $5,68 \pm 1,47$ mm en zone labourée et de $9,36 \pm 1,54$ mm en zone non labourée. A la mi-mai, la hauteur moyenne de la salicorne était de $34 \pm 6,1$ mm en zone labourée et de $34,42 \pm 7,1$ mm en zone non labourée. A la mi-juin, la hauteur moyenne de la salicorne était de $77 \pm 27,7$ mm en zone labourée et de $81,46 \pm 19,76$ mm en zone non labourée.

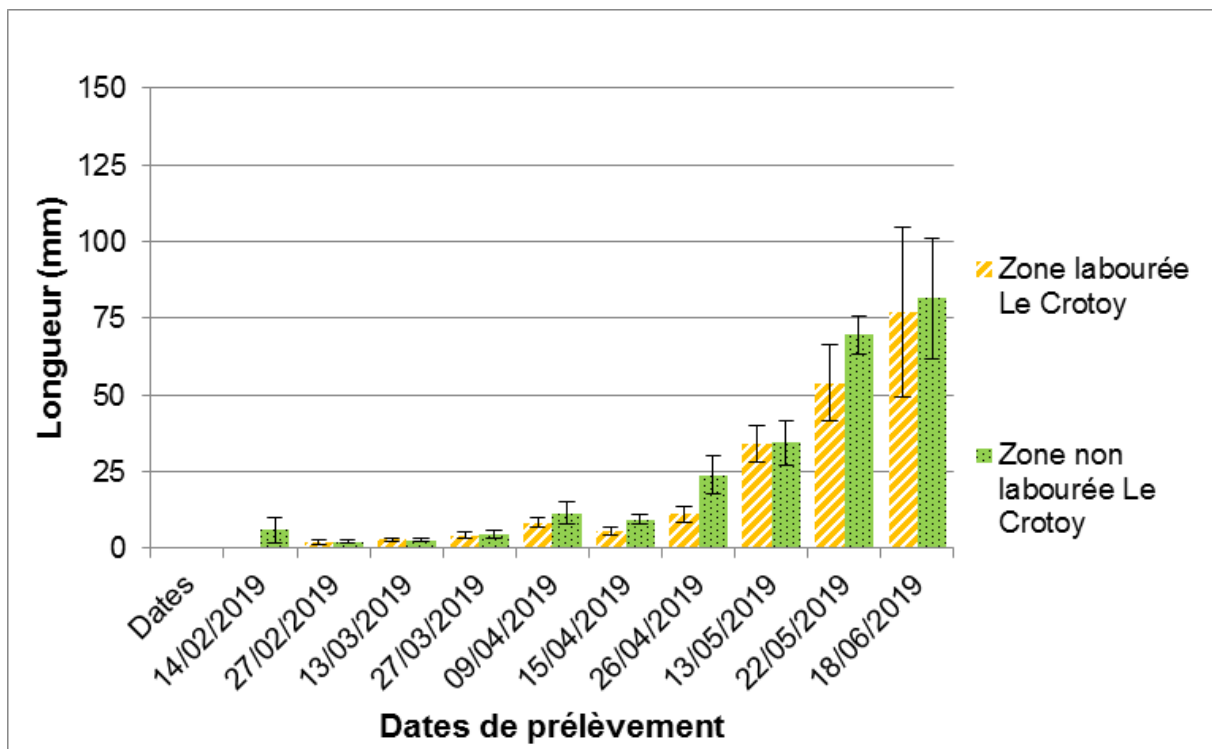


Figure 63 : Comparaison de la croissance de la salicorne entre les zones labourées et non labourées sur le site du Crotoy

La mesure des plants de soude maritime en zone labourée et non labourée sur le site du Crotoy a été réalisée de mi-février à mi-juin, les résultats sont présentés dans la **Figure 64**. A la mi-avril, la hauteur moyenne de la soude maritime était de $25,38 \pm 2,6$ mm en zone labourée et de $23,52 \pm 3,29$ mm en zone non labourée. A la mi-mai, la hauteur moyenne de la soude maritime était de $33,86 \pm 6,84$ mm en zone labourée et de $49,48 \pm 7,5$ mm en zone non labourée. A la mi-juin, la hauteur moyenne de la soude maritime était de $164,34 \pm 27,27$ mm en zone labourée et de $139,5 \pm 18,65$ mm en zone non labourée.

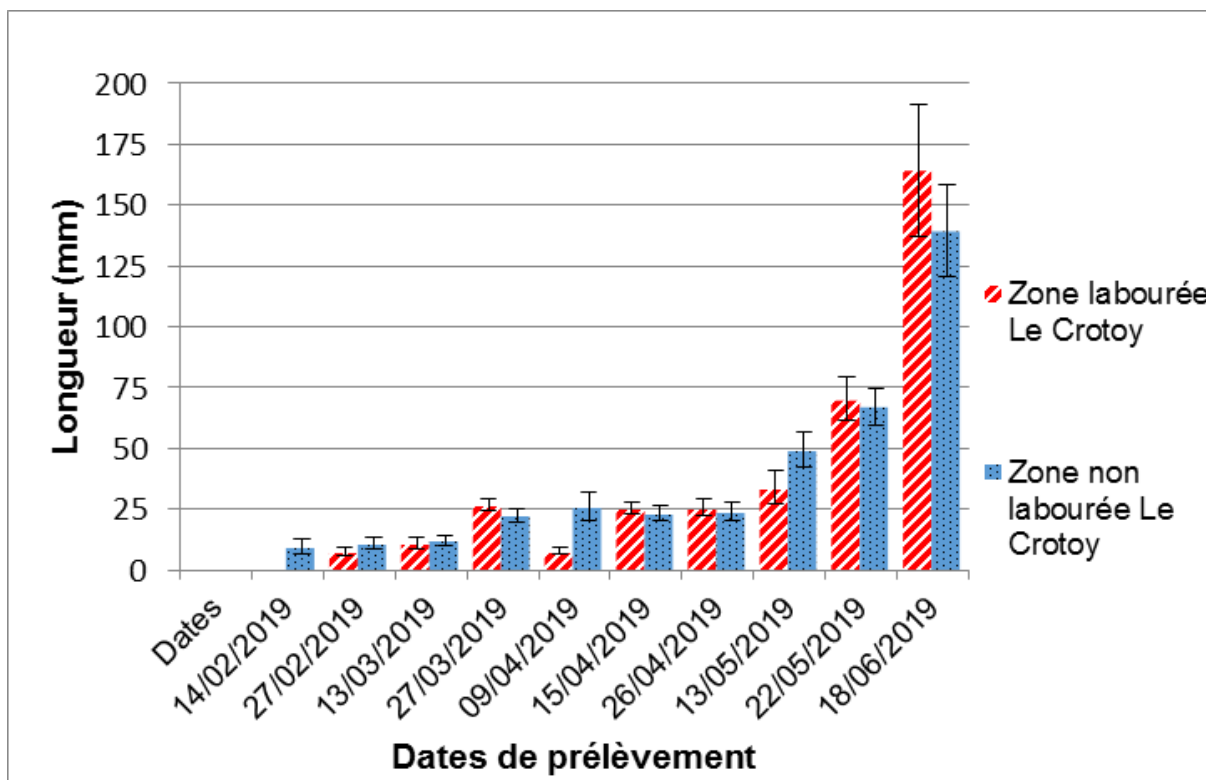


Figure 64 : Comparaison de la croissance de la soude entre les zones labourées et non labourées sur le site du Crotoy

La comparaison de la taille des plants de salicorne en zone non labourée entre le site du Crotoy et le site du Hourdel est présentée dans la [Figure 65](#). A la mi-février, la hauteur moyenne des plants de salicorne était de $5,93 \pm 4,28$ mm sur le site du Crotoy et de $2,34 \pm 0,77$ mm sur le site du Hourdel. A la mi-avril, la hauteur moyenne était de $9,36 \pm 1,55$ mm sur le site du Crotoy et de $8,8 \pm 2,19$ mm sur le site du Hourdel. A la mi-mai, la hauteur moyenne était de $34,42 \pm 7,11$ mm sur le site du Crotoy et de $41,6 \pm 9,69$ mm sur le site du Hourdel. A la mi-juin, la hauteur moyenne était de $81,46 \pm 19,76$ mm sur le site du Crotoy et de $98,64 \pm 15,54$ mm sur le site du Hourdel.

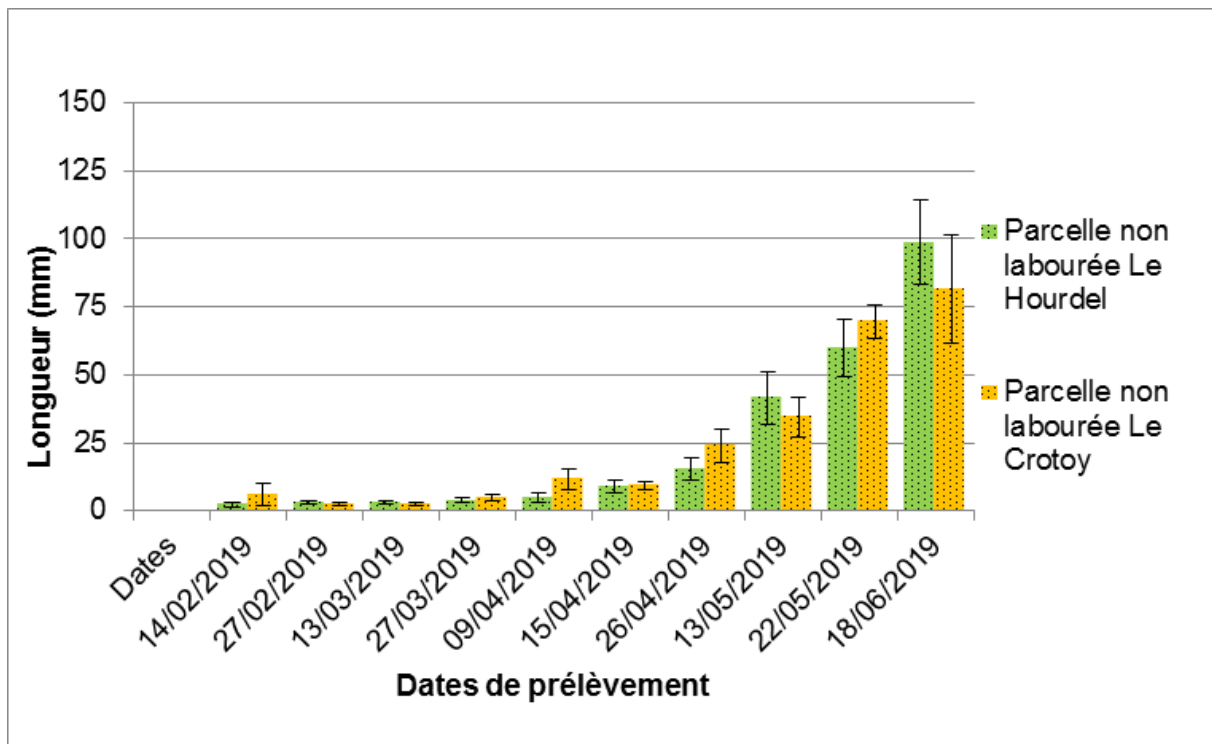


Figure 65 : Comparaison de la croissance de la salicorne entre les sites du Hourdel et du Crotoy sur des zones non labourées

La comparaison de la taille des plants de soude maritime en zone non labourée entre le site du Crotoy et le site du Hourdel est présentée dans la **Figure 66**. A la mi-février, la hauteur moyenne des plants de soude maritime était de $9,64 \pm 2,88$ mm sur le site du Crotoy et de $8,46 \pm 1,66$ mm sur le site du Hourdel. A la mi-avril, la hauteur moyenne était de $23,52 \pm 3,29$ mm sur le site du Crotoy et de $27,58 \pm 3,39$ mm sur le site du Hourdel. A la mi-mai, la hauteur moyenne était de $49,48 \pm 7,5$ mm sur le site du Crotoy et de $30,46 \pm 3,37$ mm sur le site du Hourdel. A la mi-juin, la hauteur moyenne était de $139,5 \pm 18,65$ mm sur le site du Crotoy et de $120,18 \pm 29,52$ mm sur le site du Hourdel.

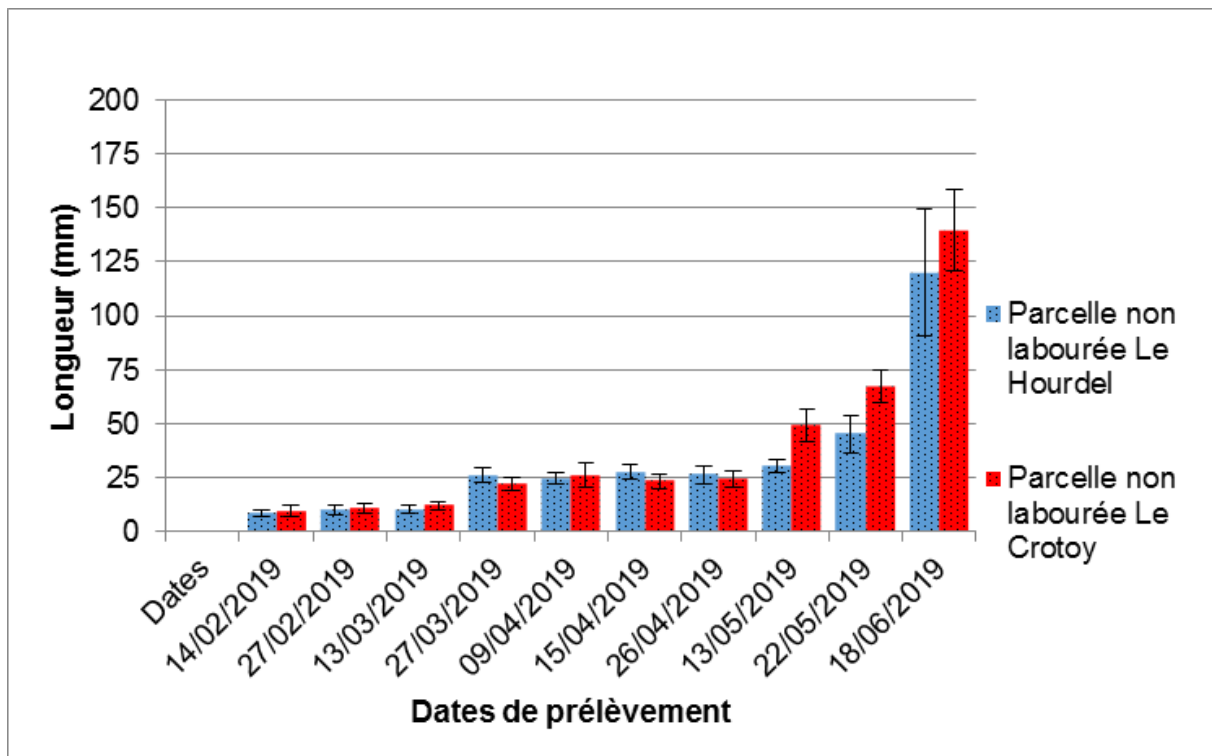


Figure 66 : Comparaison de la croissance de la soude entre les sites du Hourdel et du Crotoy sur des zones non labourées

Les relations entre la croissance de la salicorne et de la soude maritime et le travail du sol ainsi qu'entre la croissance de ces végétaux et la date de prélèvement ont été analysées à l'aide de tests statistiques.

Le test de Lilliefors, permettant de tester la normalité des distributions a montré que la normalité des distributions n'était pas respectée ($p\text{-value} < 0,0001$, on rejette donc l'hypothèse nulle H_0 et on accepte donc l'hypothèse alternative H_1 au seuil de 5 % : l'échantillon ne suit pas une loi normale).

Le test de Levene, permettant de tester l'homogénéité des variances, a montré que les variances n'étaient pas homogènes ($p\text{-value} < 0,0001$, on rejette donc l'hypothèse nulle H_0 et on accepte donc l'hypothèse alternative H_1 au seuil de 5 % : au moins une des variances est différente d'une autre).

Les conditions d'application des tests statistiques paramétriques (normalité et homoscedasticité) n'étant pas respectées, le test non-paramétrique de Wilcoxon-Mann-Whitney a été utilisé.

Aucune différence significative de la taille des plants de salicorne et de soude n'a été mise en évidence entre les sites du Crotoy et du Hourdel dans les zones non labourées ($p\text{-values} = 0,473$ et $0,590$ respectivement, on accepte donc l'hypothèse nulle H_0 au seuil de 5 %, il n'y a pas de différence entre les échantillons). Pour rappel, les travaux de labours devant avoir lieu sur le site du Hourdel n'ont pas pu être réalisés.

Concernant la salicorne, une différence de la taille des plants a été mise en évidence entre les zones labourées et les zones non labourées sur le site du Crotoy, ($p\text{-value} < 0,0001$, on rejette donc l'hypothèse nulle H_0 et on accepte donc l'hypothèse alternative H_1 au seuil de 5 % : les distributions des échantillons sont différentes).

Concernant la soude, une différence de la taille des plants a été mise en évidence entre les zones labourées et les zones non labourées sur le site du Crotoy, ($p\text{-value} < 0,044$, on rejette donc l'hypothèse nulle H_0 et on accepte donc l'hypothèse alternative H_1 au seuil de 5 % : les distributions des échantillons sont différentes).

Des comparaisons de la taille des plants en fonction de la date de prélèvement ont été réalisées afin de mieux comprendre les différences mises en évidence. **Pour les deux espèces mesurées, les différences de taille entre les zones labourées et non labourées sont significatives entre le mois de février et la mi-mai ($p\text{-values} < 0,05$, on rejette l'hypothèse nulle H_0 et on accepte l'hypothèse alternative H_1 au seuil de 5 %, il y a une différence entre les échantillons) puis les différences de tailles s'estompent et deviennent non significatives entre la mi-mai et la mi-juin ($p\text{-values} > 0,05$, on accepte l'hypothèse nulle H_0 au seuil de 5 %, il n'y a pas de différence entre les échantillons).**

3-3-2- Influence du labour sur la croissance, la densité et la diversité floristique

L'ensemble des photographies des quadrats et des données associées est disponible en **Annexe 3**.

➤ Baie de Somme nord – Le Crotoy/Saint Valery sur Somme

L'analyse de la composition floristique des quadrats réalisés en baie de Somme nord (**Figure 67**) a montré que la végétation était dominée par un mélange de salicorne et de soude maritime (**Figure 68**). D'autres espèces viennent s'associer telles que l'aster maritime, la spartine anglaise, l'obione et la puccinellie. L'ensemble des quadrats est caractérisé par une forte proportion de sol nu variant de 40 à 50 % de la surface totale. La spartine anglaise est présente au niveau des points 1, 4 et 5 à des pourcentages allant de 2,5 à 12,3 % de la composition totale du quadrat (**Tableau 4**).

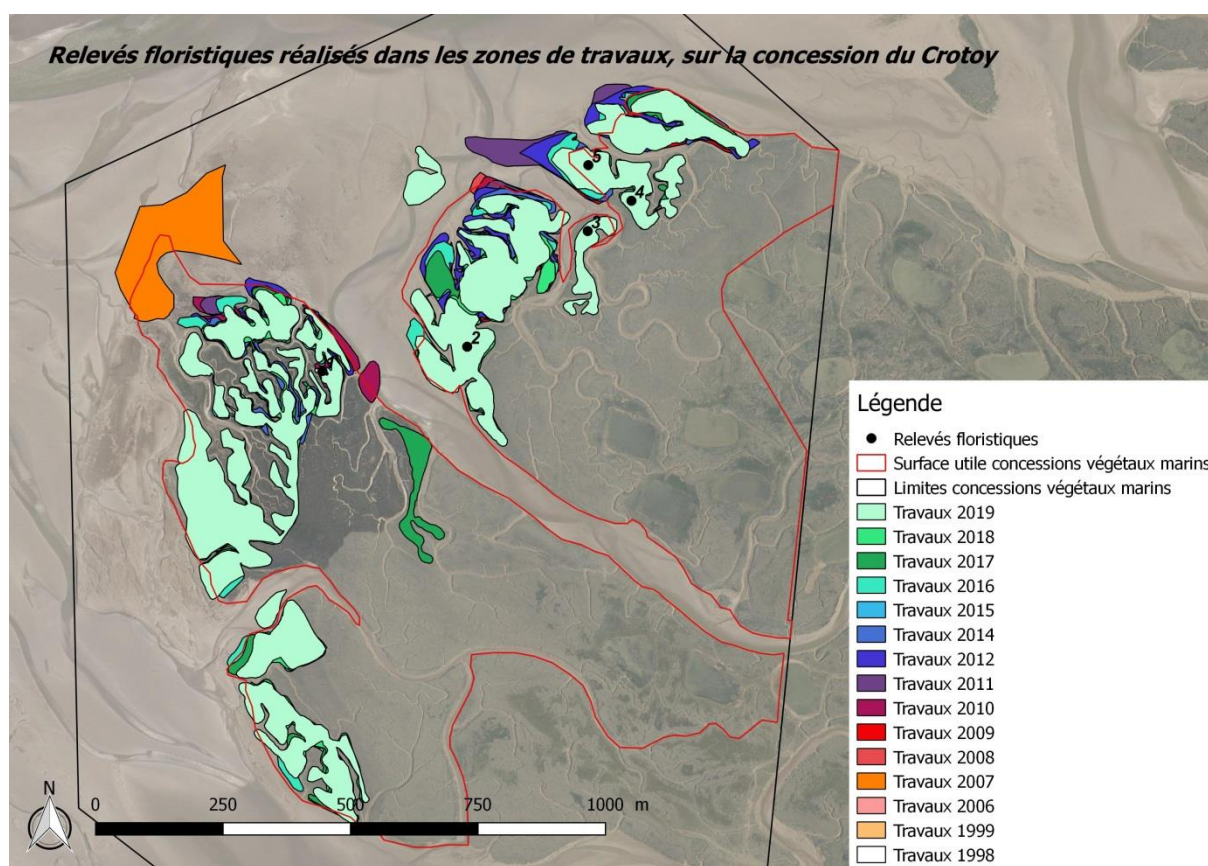


Figure 67 : Localisation des zones labourées entre 1998 et 2019 et relevés floristiques effectués sur les concessions de culture marine entre Le Crotoy et Saint Valery Sur Somme

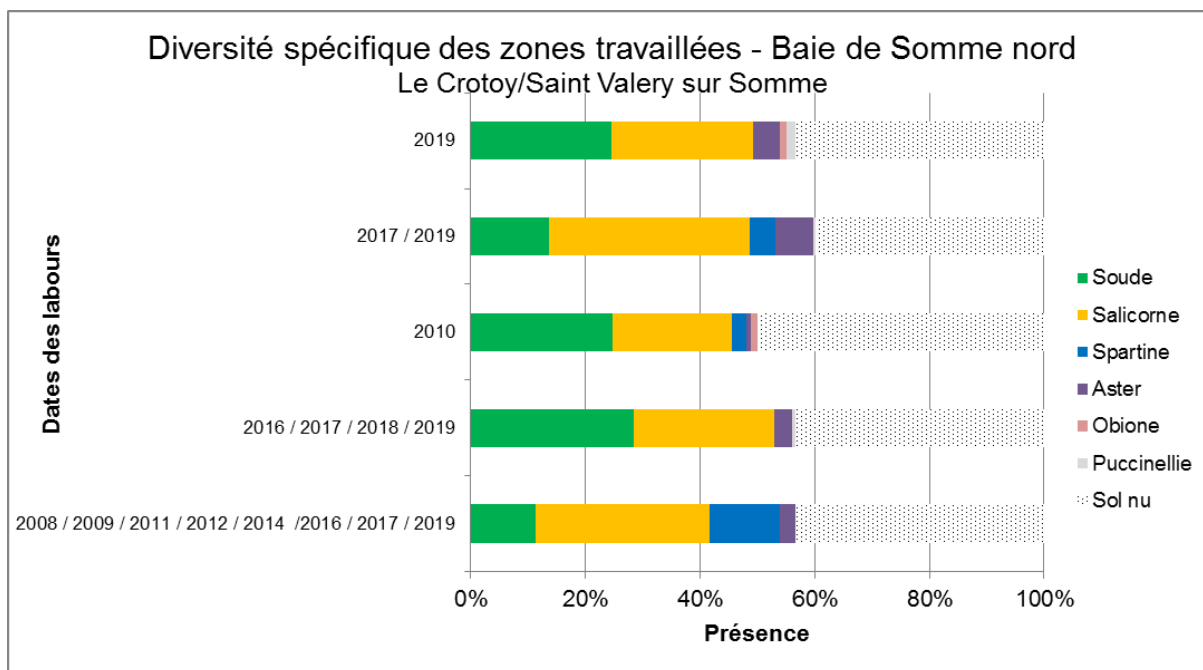


Figure 68 : Comparaison de la diversité spécifique entre des zones ayant été soumises à différentes fréquences de travail du sol en baie de Somme nord

Tableau 4 : Composition floristique des quadrats réalisés aux différents points de prélèvement en baie de Somme nord

Points de prélèvement	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5
Dates de réalisation des labours	2010	2016 / 2017 2018 / 2019	2019	2017 / 2019	2008 / 2009 / 2011 / 2012 / 2014 / 2016 / 2017 / 2019
Soude (%)	24,67	28,33	24,56	13,60	11,33
Salicorne (%)	20,83	24,56	24,56	35,00	30,22
Spartine (%)	2,50	0,00	0,00	4,40	12,28
Aster (%)	0,75	3,02	4,72	6,60	2,83
Obione (%)	1,25	0,00	1,13	0,00	0,00
Puccinellie (%)	0,00	0,76	1,70	0,40	0,00
Sol nu (%)	50,00	43,33	43,33	40,00	43,33

Les relations entre la composition floristique et les labours réalisés aux points de prélèvement effectués ont été analysées à l'aide de tests statistiques.

Le test Lilliefors, permettant de tester la normalité des distributions a montré que la normalité des distributions n'était pas respectée ($p\text{-value} < 0,0001$, on rejette donc l'hypothèse nulle H_0 et on accepte donc l'hypothèse alternative H_1 au seuil de 5 % : l'échantillon ne suit pas une loi normale).

Le test de Levene, permettant de tester l'homogénéité des variances, a montré que les variances n'étaient pas homogènes ($p\text{-value} < 0,0001$, on rejette donc

l'hypothèse nulle H0 et on accepte donc l'hypothèse alternative H1 au seuil de 5 % : au moins une des variances est différente d'une autre).

Les conditions d'application des tests statistiques paramétriques (normalité et homoscedasticité) n'étant pas respectées, le test non-paramétrique de Kruskal-Wallis a été utilisé.

Le test de Kruskal-Wallis a permis de mettre en évidence qu'il n'y avait **aucune différence significative dans la composition floristique entre les différents points de prélèvement** ($p\text{-values} > 0,05$ au seuil de 5 %). Ce qui indique que pour les points de prélèvements effectués dans cette étude, **le travail du sol n'a pas eu d'influence significative sur la composition et le pourcentage de présence des espèces végétales présentes ni sur le pourcentage de sol nu.**

➤ **Baie de Somme sud – Le Hourdel/Cap Hornu**

L'analyse de la composition floristique des quadrats réalisés en baie de Somme sud (**Figure 69**) a montré que la végétation était composée d'un mélange de salicorne, soude maritime, asters, spartine anglaise, obione et puccinellie (**Figure 70**). La spartine anglaise est présente dans les relevés réalisés au niveau des points 4, 5, 6 et 7 n'ayant pas été labourés au cours des deux dernières années (2018, 2019).

Les points 1, 2 et 3 ont été labourés en 2019, ils sont caractérisés par la dominance de la salicorne et de la soude maritime, l'absence de spartine anglaise et une forte proportion de sol nu.

Les points 6 (Labour en 2007) et 7 (Labour en 2007 et 2010) sont caractérisés par une plus forte diversité spécifique, une forte présence d'obione, une absence de salicorne et un pourcentage de sol nu relativement faible (**Tableau 5**). Ces différences par rapport aux autres points peuvent notamment s'expliquer par la localisation de ces points en fond de baie, en lisière de l'obionnaie.

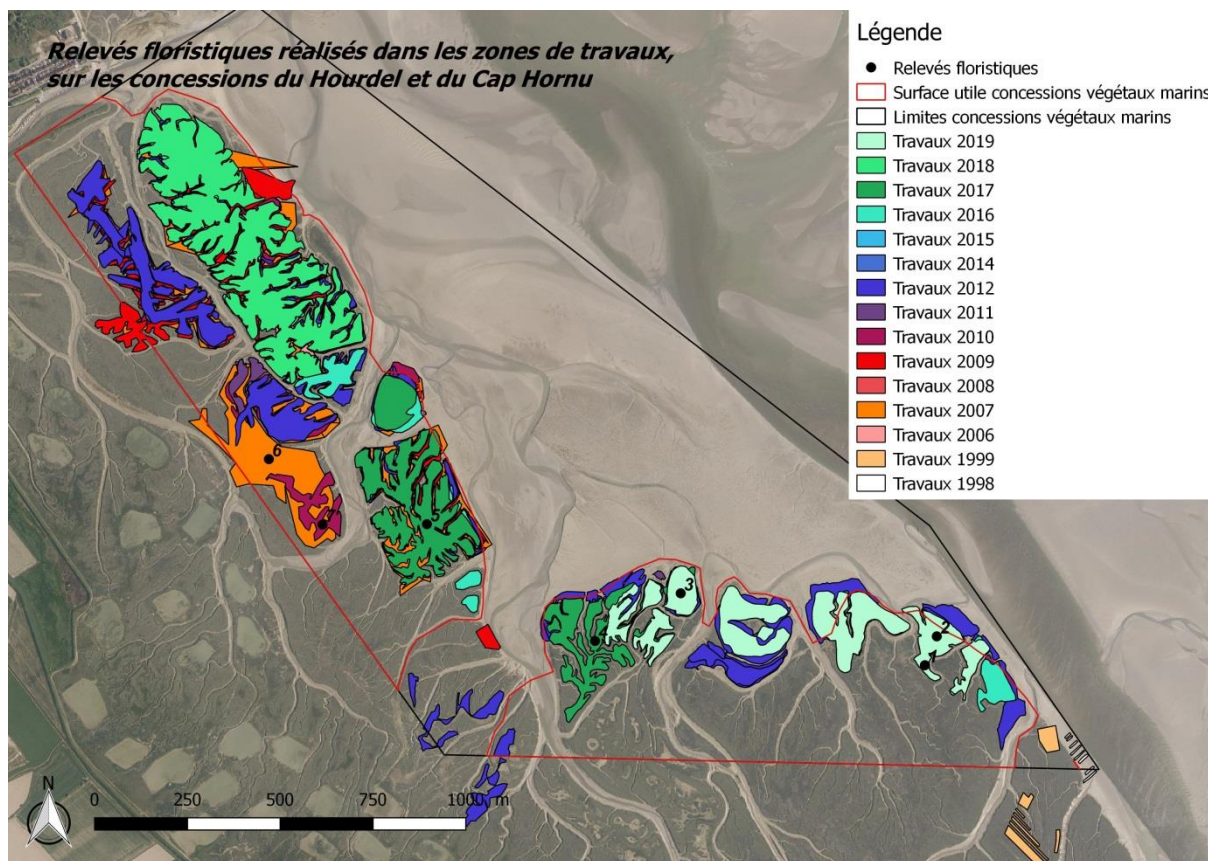


Figure 69 : Localisation des zones labourées entre 1998 et 2019 et relevés floristiques effectués sur les concessions de culture marine entre Le Hourdel et Saint Valery Sur Somme

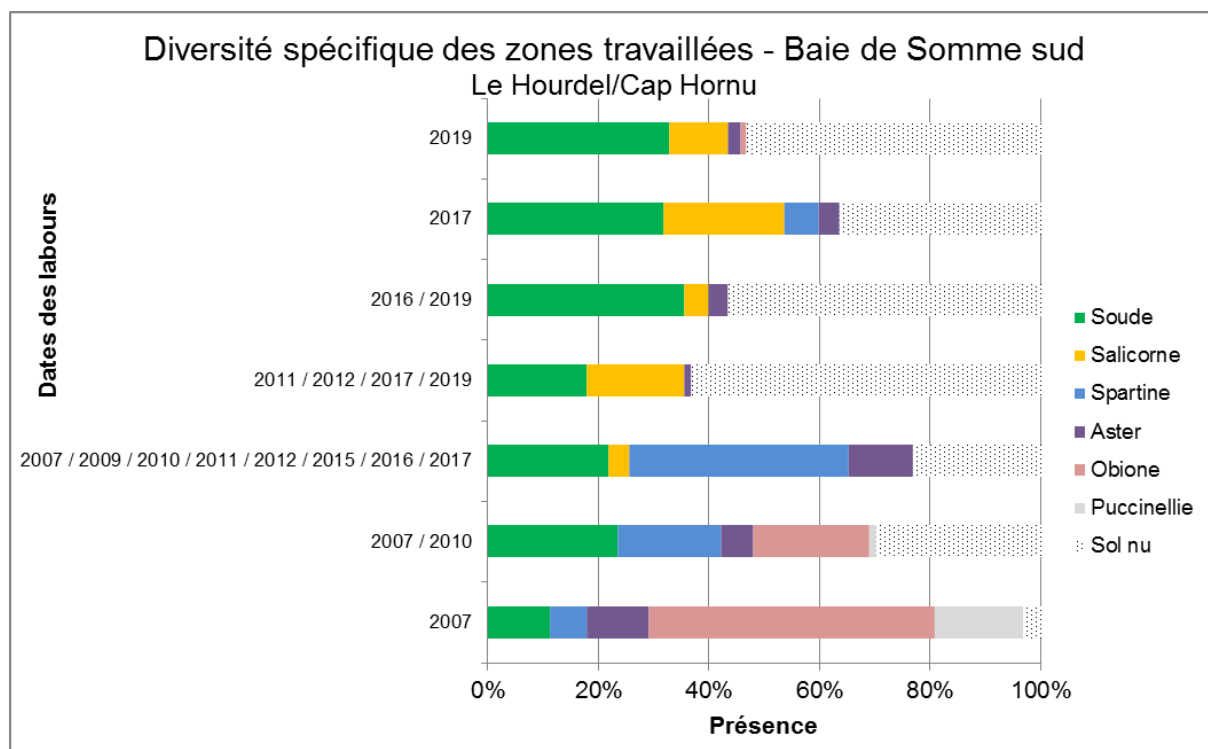


Figure 70 : Comparaison de la diversité spécifique entre des zones ayant été soumises à différentes fréquences de travail du sol en baie de Somme sud

Tableau 5 : Composition floristique des quadrats réalisés aux différents points de prélèvement en baie de Somme sud

Points de prélèvement	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Point 7
Dates de réalisation des labours	2019	2016 2019	2011 2012 2017 2019	2017	2007 2009 2010 2011 2012 2015 2016 2017	2007	2007 2010
Soude (%)	32,67	35,39	17,72	31,67	21,72	11,28	23,33
Salicorne (%)	10,58	4,33	17,72	21,74	3,83	0,00	0,00
Spartine (%)	0,00	0,00	0,00	6,33	39,61	6,44	18,67
Aster (%)	2,33	3,61	1,22	3,59	11,50	11,28	5,83
Obione (%)	1,09	0,00	0,00	0,00	0,00	51,56	21,00
Puccinellie (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,11	1,17
Sol nu (%)	53,33	56,67	63,33	36,67	23,33	3,33	30,00

Les différences entre les différents points de prélèvement ont été analysées à l'aide de tests statistiques.

Le test de Kruskal-Wallis a permis de mettre en évidence **des différences significatives entre la composition floristique et les différents points de prélèvement** (p -values < 0,05 au seuil de 5 %). Le détail des différences significatives est présenté dans le **Tableau 6**.

Tableau 6 : Tableau récapitulatif des différences significatives observées entre la composition floristique et les travaux effectués aux points de prélèvements réalisés en baie de Somme Sud

Dates des travaux de labour effectués	2019	2016/2019	2011/2012 2017/2019	2017	2007/2009 2010/2011 2012/2015 2016/2017	2007	2007/2010
2019		Puccinel-lie <i>p-value = 0,017</i>	Puccinel-lie <i>p-value = 0,017</i>	Puccinel-lie <i>p-value = 0,017</i>	Puccinel-lie <i>p-value = 0,017</i>	Soude <i>p-value = 0,005</i> Salicorne <i>p-value = 0,044</i> Sol nu <i>p-value = 0,015</i> Puccinel-lie <i>p-value = 0,017</i>	
2016/2019					Soude <i>p-value = 0,013</i> Spartine <i>p-value = 0,041</i>	Soude <i>p-value = 0,001</i> Sol nu <i>p-value = 0,008</i>	Soude <i>p-value = 0,026</i> Spartine <i>p-value = 0,008</i> Puccinel-lie <i>p-value = 0,034</i>
2011/2012 /2017/2019					Salicorne <i>p-value = 0,019</i> Spartine <i>p-value = 0,041</i> Sol nu <i>p-value = 0,018</i>	Salicorne <i>p-value = 0,002</i> Sol nu <i>p-value = 0,001</i>	Salicorne <i>p-value = 0,002</i> Spartine <i>p-value = 0,008</i> Obione <i>p-value = 0,004</i> Puccinel-lie <i>p-value = 0,034</i>

							Sol nu <i>p-value = 0,038</i>
2017						Salicorne <i>p-value = 0,007</i>	Salicorne <i>p-value = 0,007</i> Obione <i>p-value = 0,004</i> Puccinellie <i>p-value = 0,034</i>
2007/2009 /2010/2011 /2012/2015 /2016/2017							Obione <i>p-value = 0,004</i> Puccinellie <i>p-value = 0,034</i>
2007							Obione <i>p-value = 0,004</i> Puccinellie <i>p-value = 0,034</i>
2007/2010							

3-3-3- Labours expérimentaux

3-3-3-1- Relevés floristiques

L'ensemble des photographies des quadrats et des données associées est disponible en Annexe 4.

➤ Site du Crotoy

Le comptage du nombre de plants de salicorne, soude maritime et aster maritime par mètre carré en avril 2019 au niveau des parcelles expérimentales du site du Crotoy est synthétisé dans la **Figure 71**. Il permet de mettre en évidence :

- Un nombre important de jeunes plants de salicorne en janvier (environ 4000 ind/m²) et février (supérieur à 5500 ind/m²) pour la condition « Témoin » par rapport aux autres espèces végétales et aux autres conditions expérimentales,
- Un nombre faible de plants de salicornes, soutes et asters pour les conditions « Labour 15 cm » et « Labour 30 cm »,
- Un nombre de plants de soutes maritimes plus important pour la condition « Sol nu ».

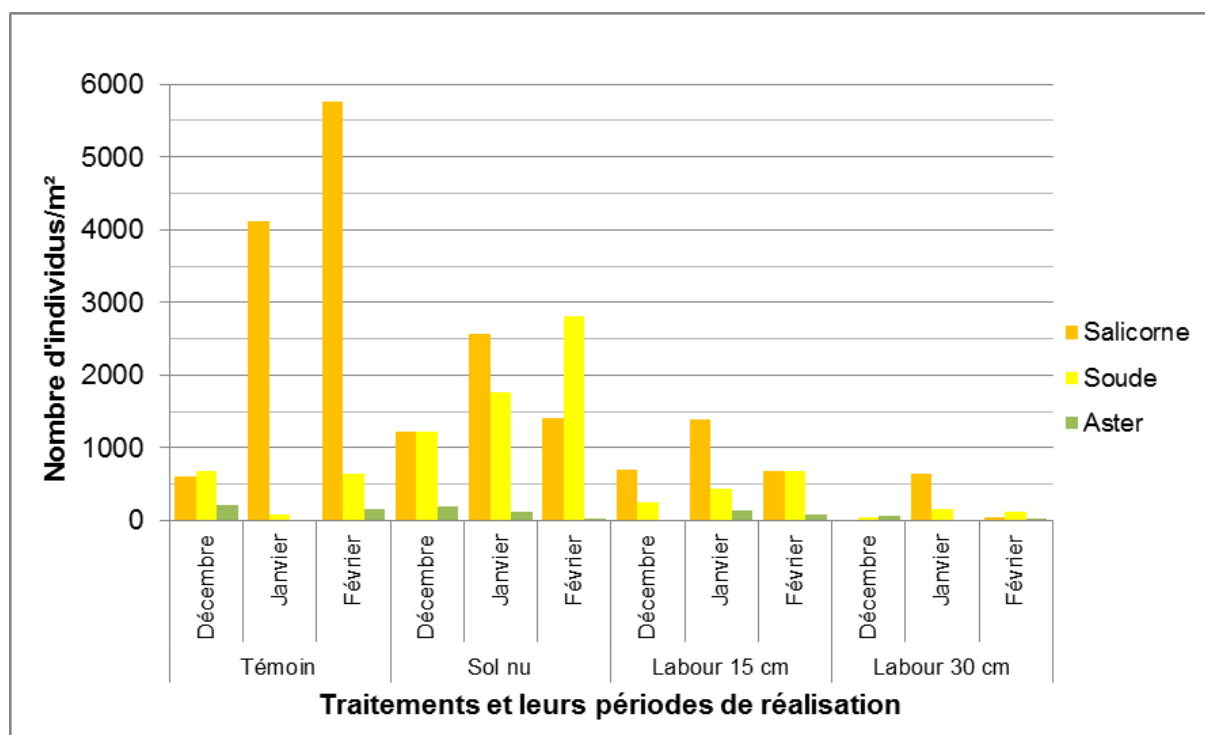


Figure 71 : Comparaison du nombre d'individus par espèce en fonction des traitements appliqués et de leurs dates de réalisation sur le site du Crotoy, début avril 2019

Le comptage du nombre de plants de salicorne, soude maritime et aster maritime par mètre carré à la mi-avril 2019 au niveau des parcelles expérimentales du site du Crotoy est synthétisé dans la **Figure 72**. Il permet de mettre en évidence :

- Une dominance du nombre de jeunes plants de salicorne (1500 à 1750 ind/m²) pour la condition « Témoin » par rapport aux autres espèces végétales et aux autres conditions expérimentales,
- Une dominance du nombre de jeunes plants de soude pour la condition « Sol nu » en décembre (environ 2500 ind/m²) et janvier (environ 1650 ind/m²) par rapport aux autres espèces végétales et aux autres conditions expérimentales,
- Un nombre plus faible plants de salicornes, soudes et asters pour les conditions « Labour 15 cm » et « Labour 30 cm »,
- Un nombre de plants de soudes maritimes plus important pour la condition « Labour 30 cm » que pour la condition « Labour 15 cm »,
- Un nombre moyen de plants de salicorne (maximum 1850 ind/m²) et de soude (maximum 2600 ind/m²) inférieur en comparaison des relevés réalisés début avril.

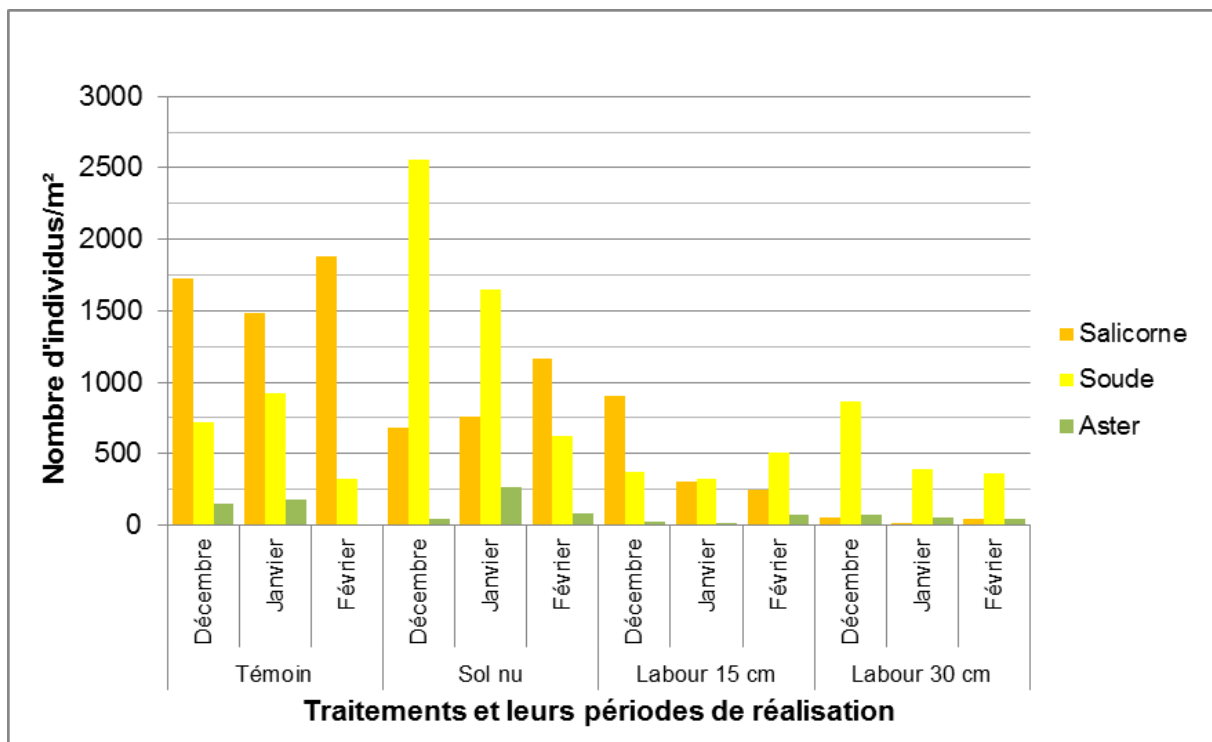


Figure 72 : Comparaison du nombre d'individus par espèce en fonction des traitements appliqués et de leurs dates de réalisation sur le site du Crotoy, mi-avril 2019

Le comptage du nombre de plants de salicorne, soude maritime et aster maritime par mètre carré à la fin-mai 2019 au niveau des parcelles expérimentales du site du Crotoy est synthétisé dans la **Figure 73**. Il permet de mettre en évidence :

- Une dominance du nombre de jeunes plants de salicorne (1200 à 1600 ind/m²) pour la condition « Témoin » et la condition « Sol nu » (excepté en décembre) par rapport aux autres espèces végétales et aux autres conditions expérimentales,

- Un nombre faible plants de salicornes, soudes et asters pour les conditions « Labour 15 cm » et « Labour 30 cm »,
- Un nombre de plants de soudes maritimes plus important pour la condition « Sol nu » au mois de décembre,
- Un nombre moyen de plants de salicorne (maximum 1500 ind/m²) et de soude (maximum 1600 ind/m²) inférieur en comparaison des relevés réalisés début et mi-avril.

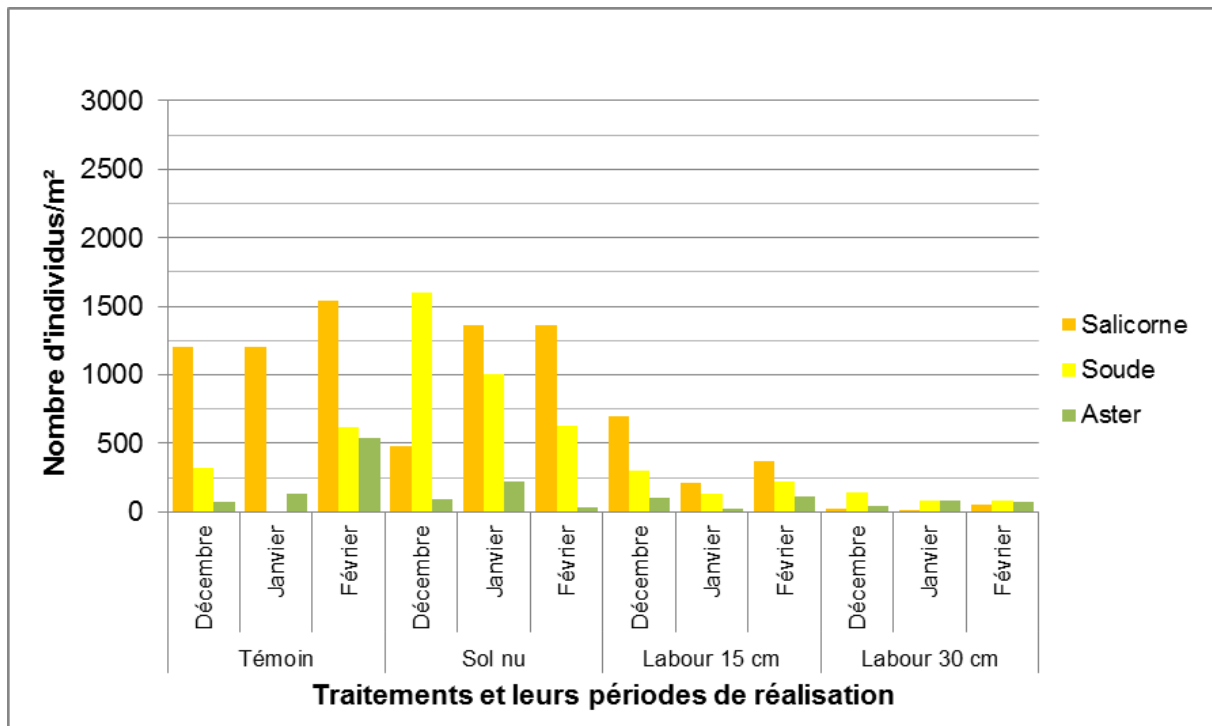


Figure 73 : Comparaison du nombre d'individus par espèce en fonction des traitements appliqués et de leurs dates de réalisation sur le site du Crotoy, fin-mai 2019

Le comptage du nombre de plants de salicorne, soude maritime et aster maritime par mètre carré à la mi-juin 2019 au niveau des parcelles expérimentales du site du Crotoy est synthétisé dans la **Figure 74**. Il permet de mettre en évidence :

- Une dominance du nombre de jeunes plants de salicorne (1200 à 1600 ind/m²) pour la condition « Témoïn » en décembre et janvier par rapport aux autres espèces végétales et aux autres conditions expérimentales,
- Un nombre faible de plants de salicornes, soudes et asters pour les conditions « Labour 15 cm » et « Labour 30 cm »,
- Un nombre de plants d'asters plus important en comparaison des relevés réalisés de début à fin mai,
- Un nombre moyen de plants de salicorne (maximum 1400 ind/m²) et de soude (maximum 1000 ind/m²) inférieur en comparaison des relevés réalisés de début à fin mai.

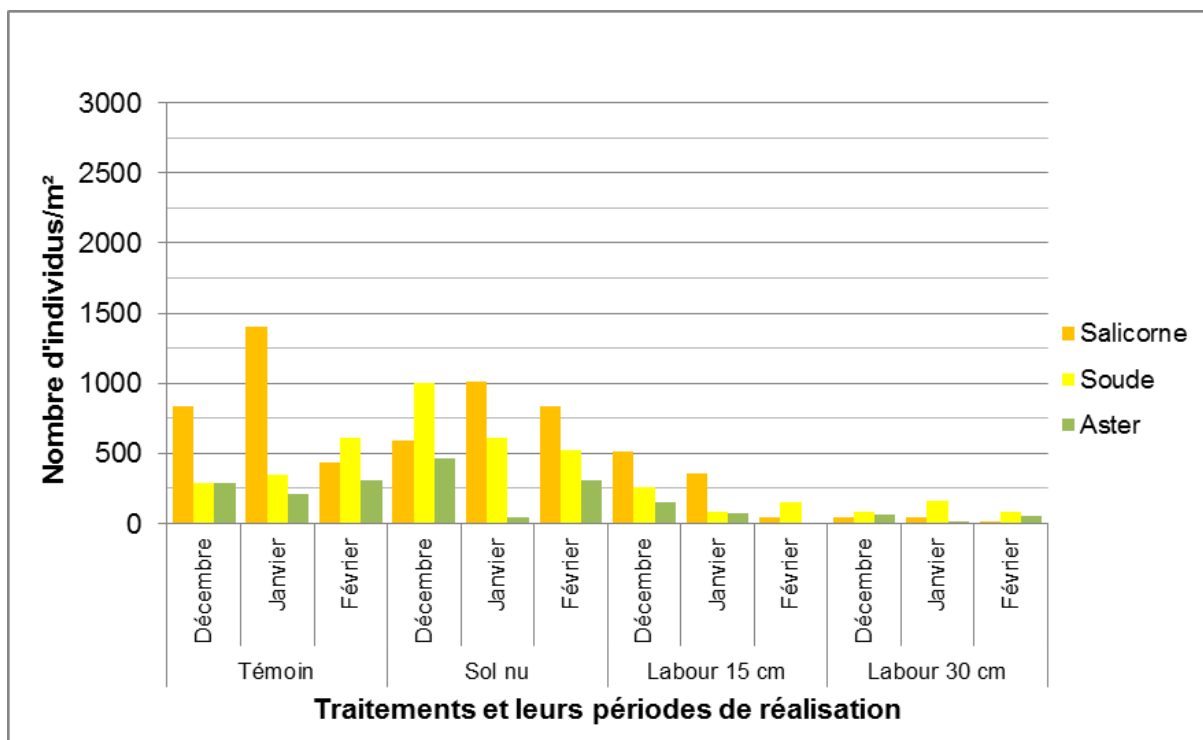


Figure 74 : Comparaison du nombre d'individus par espèce en fonction des traitements appliqués et de leurs dates de réalisation sur le site du Crotoy, mi-juin 2019

Le comptage du nombre de plants de salicorne, soude maritime et aster maritime par mètre carré de début avril à mi-juin 2019 au niveau des parcelles expérimentales du site du Crotoy est synthétisé dans la **Figure 75**. Il a permis de mettre en évidence certaines tendances :

- Un nombre de plants de salicorne fortement supérieur dans les parcelles « Témoïn » avec un maximum en février, alors que le nombre de plants de soude maritime reste relativement faible.
- Un nombre de plants de soude plus élevé au niveau des parcelles de sol nu avec 1250 à 1500 plants/m², mais le nombre de plants de salicorne est similaire pour les mois de janvier et février,
- Des densités salicorne, soude et asters les plus faibles pour les conditions « Labour 15 cm » et « Labour 30 cm »,
- Un nombre de plants de salicorne et de soude plus important au niveau des parcelles labourées à 15 cm de profondeur qu'au niveau des parcelles labourées à 30 cm de profondeur.

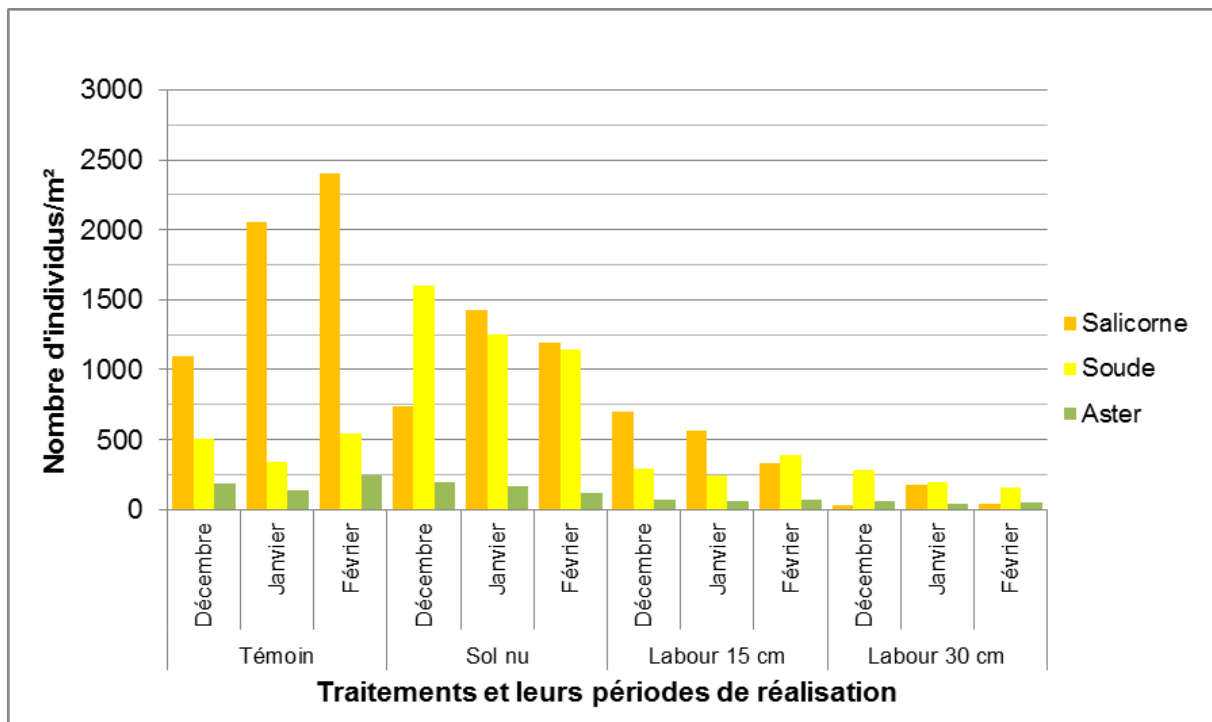


Figure 75 : Comparaison du nombre d'individus par espèce en fonction des traitements appliqués et de leurs dates de réalisation sur le site du Crotoy, pour l'ensemble des relevés réalisés d'avril à fin juin 2019

Les différences de densité entre les traitements et leurs périodes de réalisation ont été analysées à l'aide de tests statistiques.

Le test Lilliefors, permettant de tester la normalité des distributions a montré que la normalité des distributions n'était pas respectée ($p\text{-value} < 0,0001$, on rejette donc l'hypothèse nulle H_0 et on accepte donc l'hypothèse alternative H_1 au seuil de 5 % : l'échantillon ne suit pas une loi normale).

Le test de Levene, permettant de tester l'homogénéité des variances, a montré que les variances n'étaient pas homogènes ($p\text{-value} < 0,0001$, on rejette donc l'hypothèse nulle H_0 et on accepte donc l'hypothèse alternative H_1 au seuil de 5 % : au moins une des variances est différente d'une autre).

Les conditions d'application des tests statistiques paramétriques (normalité et homoscédasticité) n'étant pas respectées, le test non-paramétrique de Kruskal-Wallis a été utilisé.

Le test de Kruskal-Wallis a été réalisé en utilisant l'ensemble des données des relevés floristiques effectués. Il a permis de mettre en évidence qu'il n'y avait **pas de différence significative entre le nombre de plants de salicorne, de soude et d'asters et les traitements utilisés** ($p\text{-values} > 0,05$ au seuil de 5 %). Le test a mis en évidence **une différence significative entre le nombre de plants de salicorne, de soude et la période à laquelle est réalisé le traitement** ($p\text{-values} < 0,05$ au seuil de 5 %) ([Tableau 7](#)).

Tableau 7 : Tableau récapitulatif des différences significatives observées entre le nombre de plants de salicorne et de soude et la période de réalisation des traitements

	Salicorne	Soude
Décembre	Témoin / Labour 30 cm (<i>p-value</i> = 0,030) Labour 15 cm / Labour 30 cm (<i>p-value</i> = 0,026)	Sol nu / Labour 15 cm (<i>p-value</i> = 0,014) Sol nu / Labour 30 cm (<i>p-value</i> = 0,003)
Janvier	Témoin / Labour 30 cm (<i>p-value</i> = 0,003) Sol nu / Labour 30 cm (<i>p-value</i> = 0,026)	Témoin / Sol nu (<i>p-value</i> = 0,019) Sol nu / Labour 15 cm (<i>p-value</i> = 0,031) Sol nu / Labour 30 cm (<i>p-value</i> = 0,019)
Février	Témoin / Labour 15 cm (<i>p-value</i> = 0,034) Témoin / Labour 30 cm (<i>p-value</i> = 0,003) Sol nu / Labour 30 cm (<i>p-value</i> = 0,013)	Témoin / Labour 30 cm (<i>p-value</i> = 0,037) Sol nu / Labour 30 cm (<i>p-value</i> = 0,006)

Enfin, le test a mis en évidence qu'il n'y avait **pas de différence significative entre le nombre de plants d'aster et la période à laquelle est réalisé le traitement** (*p-values* > 0,05 au seuil de 5 %).

Le suivi de la croissance de la salicorne ([Figure 76](#)) et de la soude maritime ([Figure 77](#)) au niveau du site du Crotoy a mis en évidence une croissance régulière dans le temps pour les deux espèces mesurées.

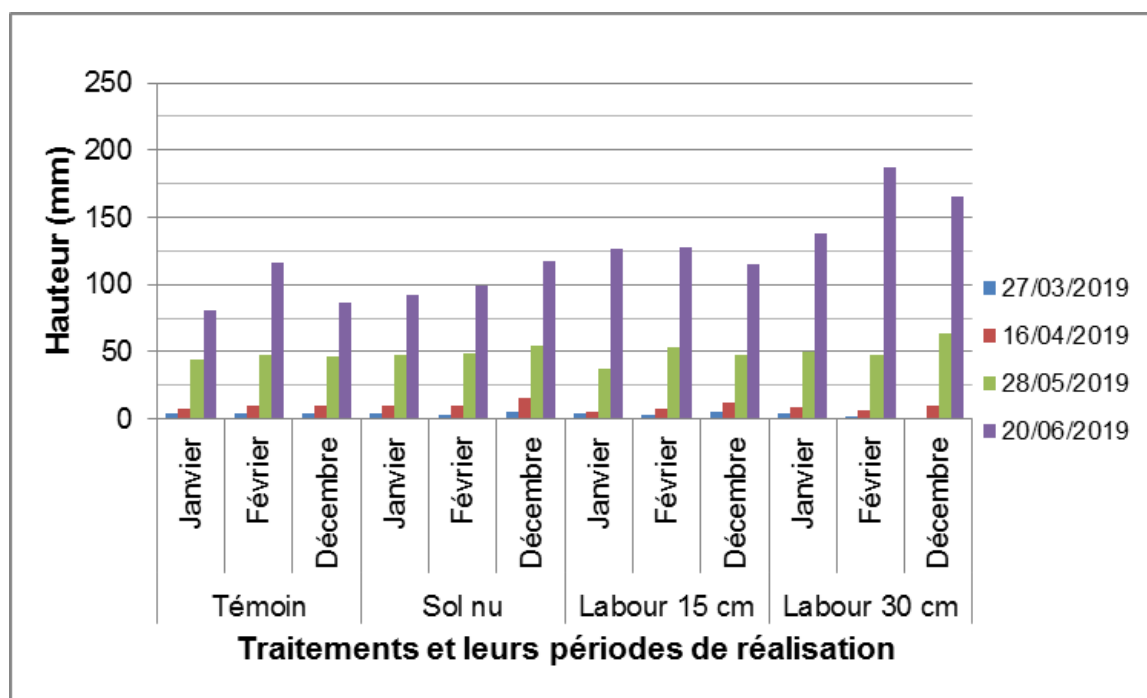


Figure 76 : Comparaison de la taille moyenne des salicornes en fonction des traitements appliqués et de leurs dates de réalisation sur le site du Crotoy, aux différentes dates de prélèvement

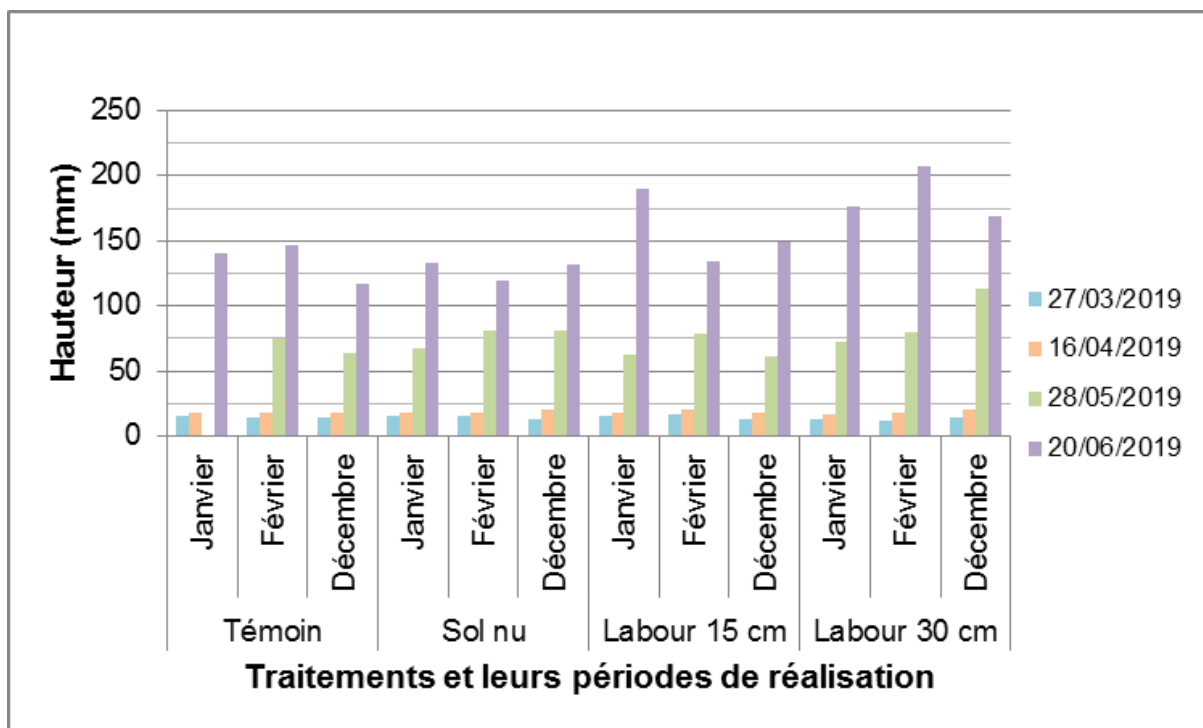


Figure 77 : Comparaison de la taille moyenne de la soude en fonction des traitements appliqués et de leurs dates de réalisation sur le site du Crotoy, aux différentes dates de prélèvement

Les différences de taille entre les traitements et leurs périodes de réalisation ont été analysées à l'aide de tests statistiques.

Le test de Kruskal-Wallis a permis de mettre en évidence qu'il n'y avait **pas de différence significative entre la taille de plants de salicorne et de soude et les traitements utilisés ni entre la taille de plants de salicorne et de soude et la période à laquelle sont réalisés les traitements** (p -values > 0,05 au seuil de 5 %).

➤ **Site du Hourdel**

Le comptage du nombre de plants de salicorne, soude maritime et aster maritime par mètre carré en avril 2019 au niveau des parcelles expérimentales du site du Hourdel est synthétisé dans la **Figure 78**. Il permet de mettre en évidence :

- Un nombre important de jeunes plants de salicorne en décembre (environ 3000 ind/m²) pour la condition « Labour 15 cm » par rapport aux autres espèces végétales et aux autres conditions expérimentales, correspondant à une motte de sédiment non déstructurée lors du travail du sol,
- Un nombre plus important de jeunes plants de salicorne pour la condition « Témoin » par rapport aux autres espèces végétales et aux autres conditions expérimentales,
- Un nombre plus important de jeunes plants de soude pour les conditions « Labour 15 cm » et « Labour 30 cm » par rapport aux autres espèces végétales et à la condition « Témoin »,

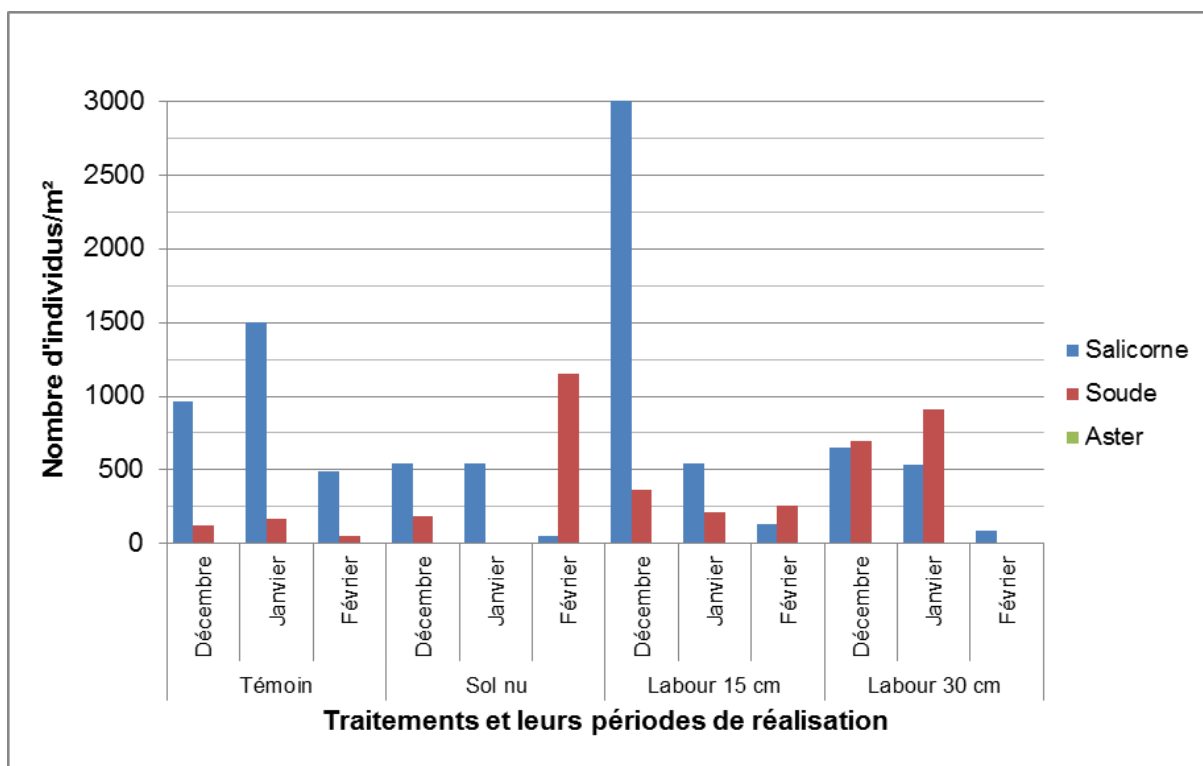


Figure 78 : Comparaison du nombre d'individus par espèce en fonction des traitements appliqués et de leurs dates de réalisation sur le site du Hourdel, début avril 2019

Le comptage du nombre de plants de salicorne, soude maritime et aster maritime par mètre carré à la mi-avril 2019 au niveau des parcelles expérimentales du site du Hourdel est synthétisé dans la **Figure 79**. Il permet de mettre en évidence :

- Un nombre plus faible de jeunes plants de salicorne et de soude pour les conditions « Labour 30 cm » par rapport aux autres conditions,
- Un nombre moyen de plants de salicorne (maximum 1500 ind/m²) et de soude (maximum 700 ind/m²) inférieur en comparaison des relevés réalisés début avril.

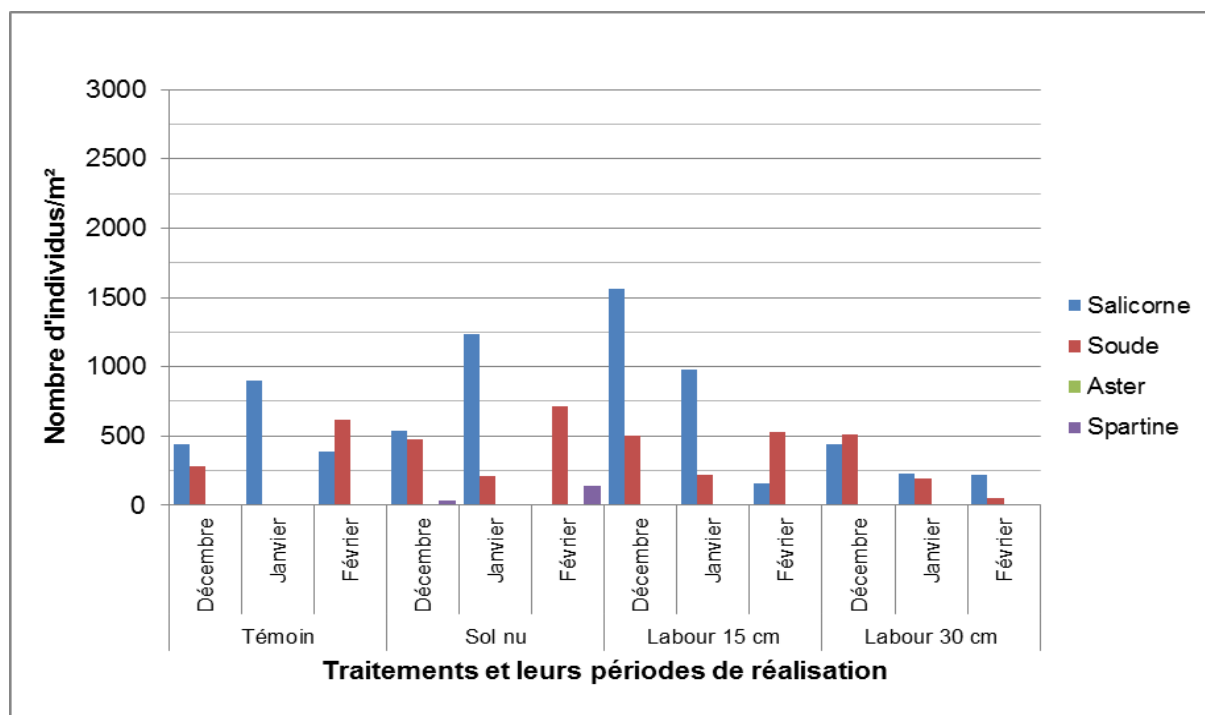


Figure 79 : Comparaison du nombre d'individus par espèce en fonction des traitements appliqués et de leurs dates de réalisation sur le site du Hourdel, mi-avril 2019

Le comptage du nombre de plants de salicorne, soude maritime et aster maritime par mètre carré à la fin-mai 2019 au niveau des parcelles expérimentales du site du Hourdel est synthétisé dans la **Figure 80**. Il permet de mettre en évidence :

- Un nombre plus important de jeunes plants de salicorne pour la condition « Témoin » et « Sol nu » par rapport aux autres espèces végétales et aux autres conditions expérimentales,
- Un nombre plus faible de jeunes plants de salicorne et de soude pour les conditions « Labour 30 cm » par rapport aux autres conditions,
- Un nombre moyen de plants de salicorne (maximum 1200 ind/m²) et de soude (maximum 600 ind/m²) inférieur en comparaison des relevés réalisés en avril.

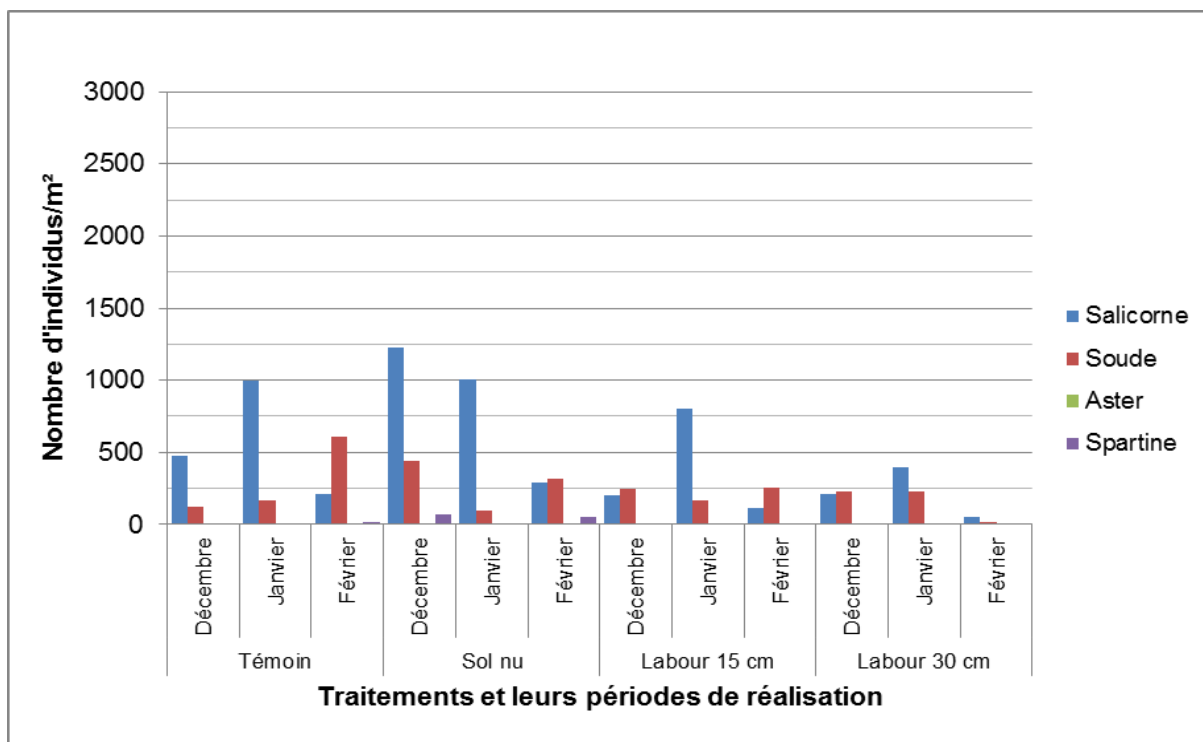


Figure 80 : Comparaison du nombre d'individus par espèce en fonction des traitements appliqués et de leurs dates de réalisation sur le site du Hourdel, fin mai 2019

Le comptage du nombre de plants de salicorne, soude maritime et aster maritime par mètre carré à la mi-juin 2019 au niveau des parcelles expérimentales du site du Hourdel est synthétisé dans la **Figure 81**. Il permet de mettre en évidence :

- Un nombre plus important de jeunes plants de salicorne par rapport aux autres espèces végétales pour les conditions « Témoïn » et « Sol nu »,
- Un nombre plus faible de jeunes plants de salicorne et de soude pour les conditions « Labour 30 cm » par rapport aux autres conditions,
- Un nombre plus faible de jeunes plants de salicorne et de soude pour les conditions lorsque les travaux sont réalisés en février,
- Un nombre moyen de plants de salicorne (maximum 1500 ind/m²) et de soude (maximum 300 ind/m²) inférieur en comparaison des relevés réalisés depuis avril.

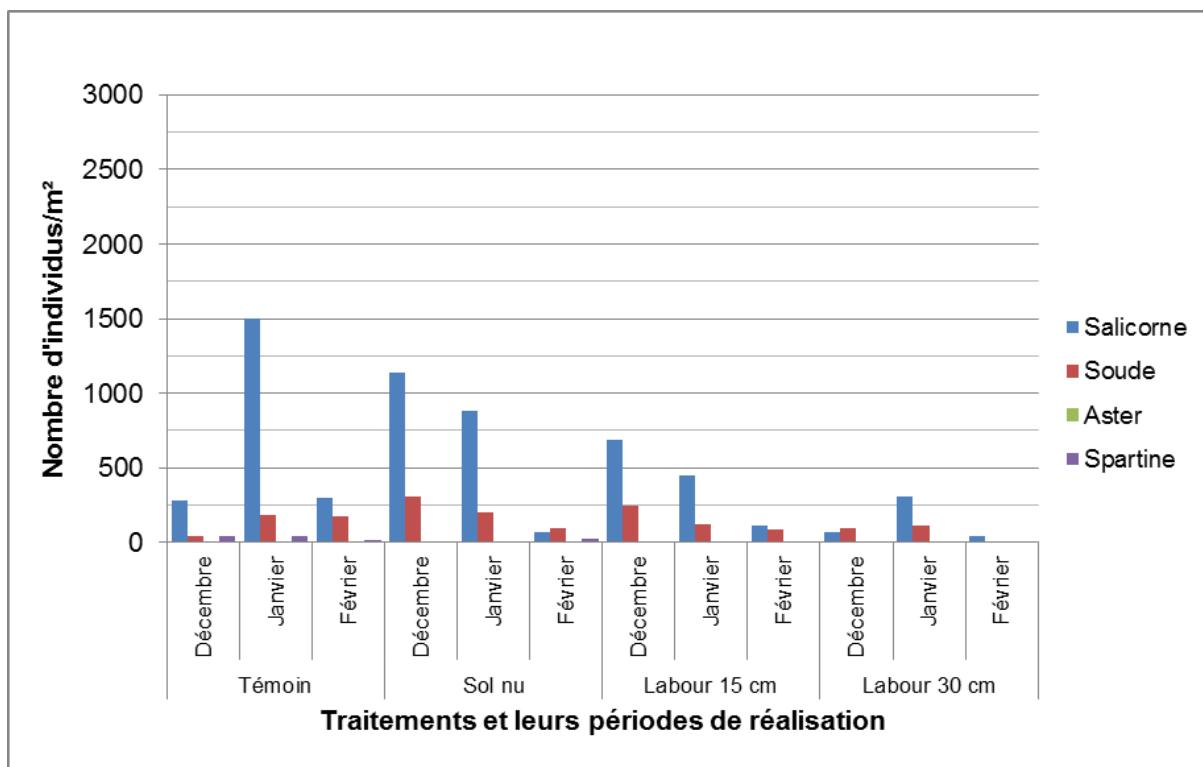


Figure 81 : Comparaison du nombre d'individus par espèce en fonction des traitements appliqués et de leurs dates de réalisation sur le site du Hourdel, mi-juin 2019

Le comptage du nombre de plants de salicorne, soude maritime et aster maritime par mètre carré de début avril à mi-juin 2019 au niveau des parcelles expérimentales du site du Hourdel est synthétisé dans la **Figure 82**. Il permet de mettre en évidence :

- Une dominance de la salicorne aux mois de décembre et janvier pour les conditions « Témoin », « Sol nu » et « Labour 15 cm »,
- Un nombre de plants de salicorne faible pour la condition « Labour 30 cm » alors que le nombre de plants de soude maritime est peu différent des autres conditions,
- Un nombre de plants de salicorne et de soude maritime au mètre carré inférieur sur les parcelles expérimentales du Hourdel par rapport à celles du Crotoy,
- Un nombre de plants d'aster également très réduit sur les parcelles du Hourdel.

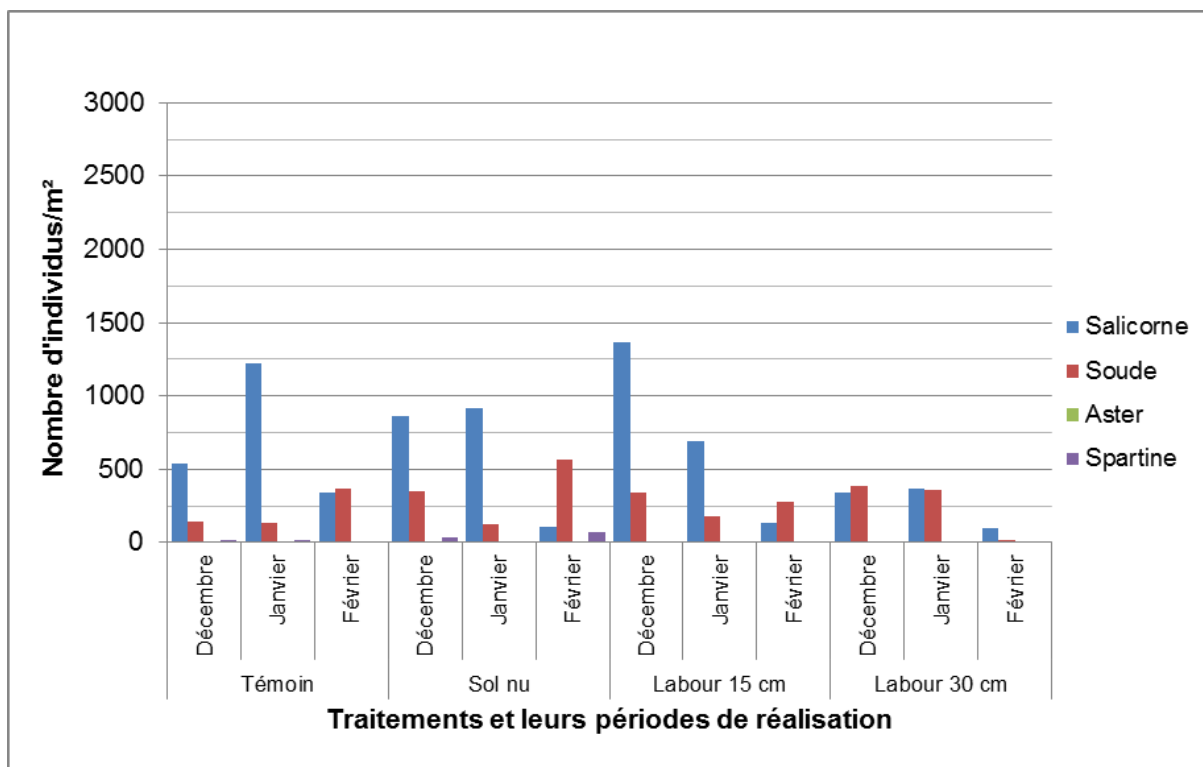


Figure 82 : Comparaison du nombre d'individus par espèce en fonction des traitements appliqués et de leurs dates de réalisation sur le site du Hourdel, pour l'ensemble des relevés réalisés d'avril à fin juin 2019

Les différences de densité entre les traitements et leurs périodes de réalisation ont été analysées à l'aide de tests statistiques.

Le test de Kruskal-Wallis a été réalisé en utilisant l'ensemble des données des relevés floristiques effectués.

Il a permis de mettre en évidence une **différence significative entre le nombre de plants de salicorne et les traitements utilisés ainsi qu'une différence significative entre le nombre de plants de soude et le traitement Labour 30 cm (Tableau 8).**

Le test a mis en évidence qu'il n'y avait **pas de différence significative entre le nombre de plants d'aster et de spartine et les traitements utilisés pour les points de prélèvements étudiés.**

Tableau 8 : Tableau récapitulatif des différences significatives observées entre le nombre de plants de salicorne et de soude et les traitements appliqués

	Salicorne	Soude
Témoin	Janvier / Février (<i>p-value</i> = 0,011)	-
Sol nu	Décembre / Février (<i>p-value</i> = 0,027) Janvier / Février (<i>p-value</i> = 0,031)	-
Labour 15 cm	Décembre / Février (<i>p-value</i> = 0,011) Janvier / Février (<i>p-value</i> = 0,031)	-
Labour 30 cm	Janvier / Février (<i>p-value</i> = 0,031)	Décembre / Février (<i>p-value</i> = 0,016) Janvier / Février (<i>p-value</i> = 0,021)

De plus les tests statistiques ont permis de mettre en évidence ([Tableau 9](#)) :

- **Une différence significative entre le nombre de plants de salicorne et la période à laquelle est réalisé le traitement pour les mois de janvier et février,**
- **Une différence significative entre le nombre de plants de soude et la période à laquelle est réalisé le traitement pour le mois de février,**
- **Aucune différence significative entre le nombre de plants d'aster et la période à laquelle est réalisé le traitement,**
- **Une différence significative entre le nombre de plants de spartine et la période à laquelle est réalisé le traitement pour le mois de janvier.**

Tableau 9 : Tableau récapitulatif des différences significatives observées entre le nombre de plants de salicorne, de soude et de spartine et la période de réalisation des traitements

	Salicorne	Soude	Spartine
Décembre	-	-	-
Janvier	Témoin / Labour 30 cm (<i>p-value</i> = 0,002) Sol nu / Labour 30 cm (<i>p-value</i> = 0,019)	-	Témoin / Sol nu (<i>p-value</i> = 0,037) Témoin / Labour 15 cm (<i>p-value</i> = 0,037) Témoin / Labour 30 cm (<i>p-value</i> = 0,037)
Février	Témoin / Sol nu (<i>p-value</i> = 0,013) Témoin / Labour 30 cm (<i>p-value</i> = 0,016)	Témoin / Labour 30 cm (<i>p-value</i> = 0,026) Sol nu / Labour 30 cm (<i>p-value</i> = 0,004) Labour 15 cm / Labour 30 cm (<i>p-value</i> = 0,045)	-

Le suivi de la croissance de la salicorne ([Figure 83](#)) et de la soude maritime ([Figure 84](#)) au niveau du site du Hourdel a mis en évidence une croissance régulière dans le temps pour les deux espèces mesurées.

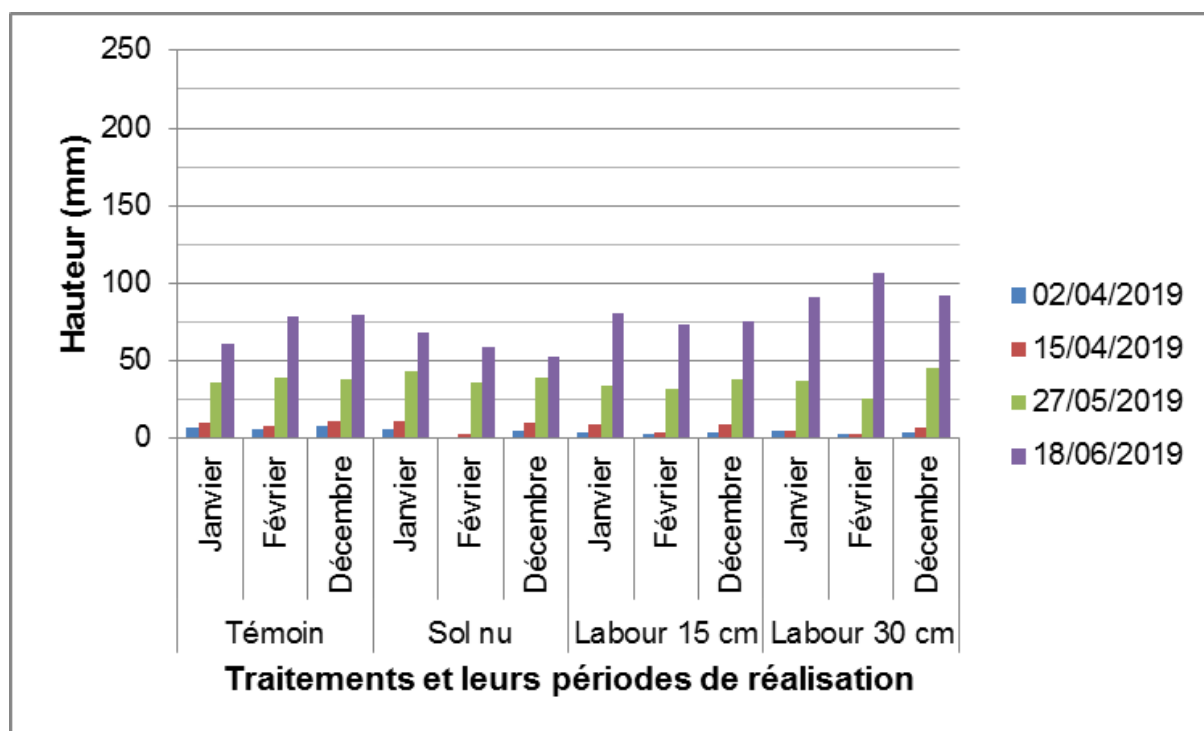


Figure 83 : Comparaison de la taille moyenne des salicornes en fonction des traitements appliqués et de leurs dates de réalisation sur le site du Hourdel, aux différentes dates de prélèvement

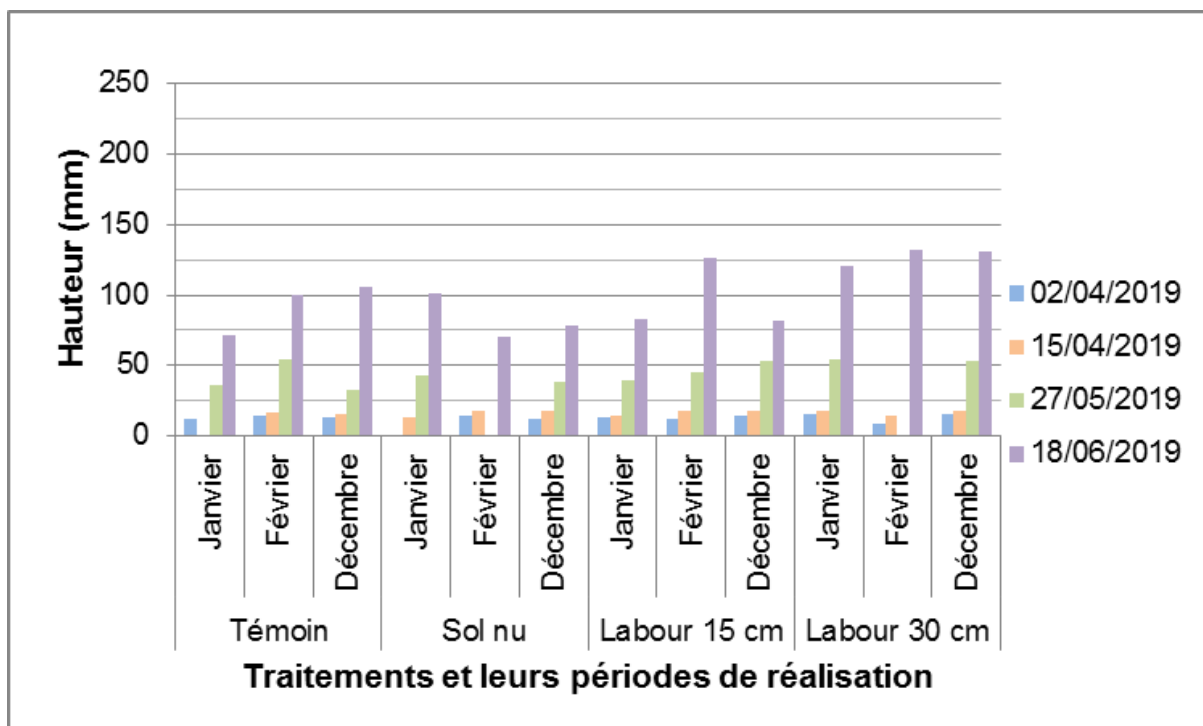


Figure 84 : Comparaison de la taille moyenne de la soude en fonction des traitements appliqués et de leurs dates de réalisation sur le site du Hourdel, aux différentes dates de prélèvement

Les différences de taille entre les traitements et leurs périodes de réalisation ont été analysées à l'aide de tests statistiques.

Le test de Kruskal-Wallis a permis de mettre en évidence qu'il n'y avait **pas de différence significative entre la taille de plants de salicorne et de soude et les traitements utilisés ni entre la taille de plants de salicorne et de soude et la période à laquelle sont réalisés les traitements** (p -values > 0,05 au seuil de 5 %).

3-3-3-2- Influence du labour sur l'enfouissement des graines

➤ Site du Crotoy

L'analyse des carottes de sédiment réalisées sur le site du Crotoy a permis de mettre en évidence certaines tendances quant à la répartition des graines de salicorne et de soude dans le sol.

Pour les conditions « Témoïn », « Sol nu » et « Labour 15 cm », la majorité des graines de salicorne (de 47 à 97 %) sont réparties dans la partie supérieure de la carotte (1 à 4 cm) c'est-à-dire en surface du sol. Quelques graines sont également retrouvées dans la partie allant de 4 à 8 cm de profondeur. En ce qui concerne la condition « Labour 30 cm », on constate un changement dans la répartition des graines par rapport au témoin, les graines de salicornes sont retrouvées en surface en proportions moindres mais elles sont également retrouvées à des profondeurs allant de 8 à 12 cm (**Figure 85**).

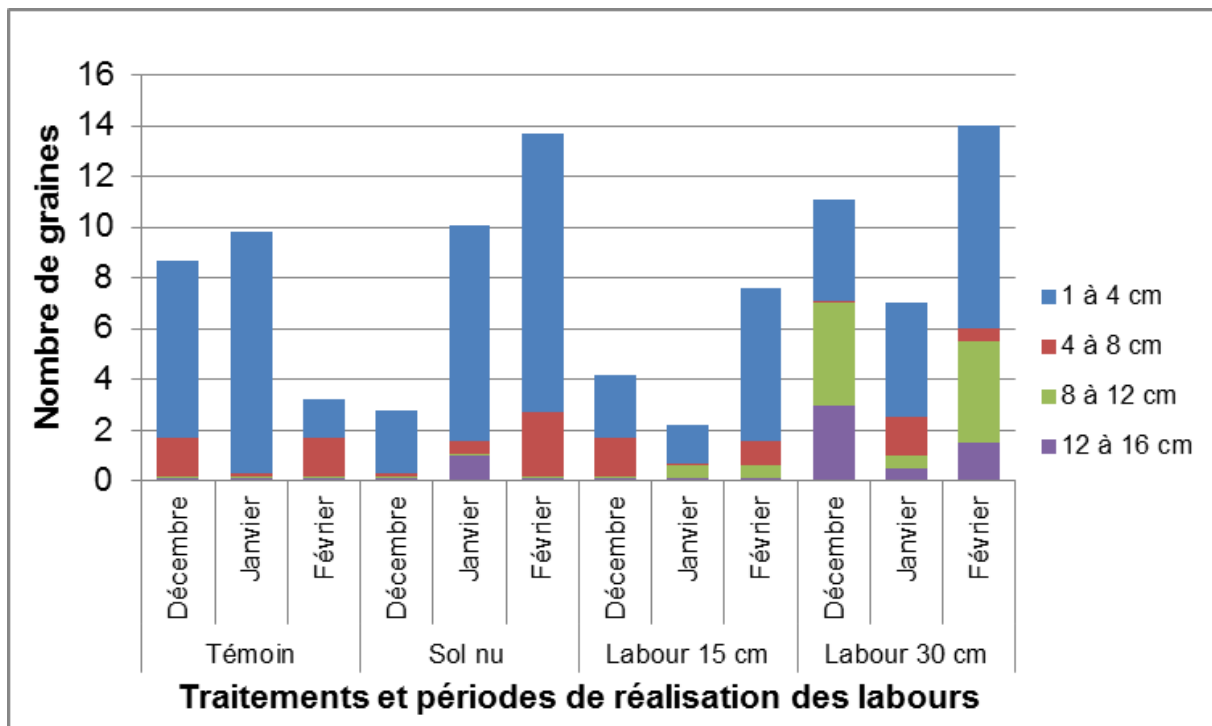


Figure 85 : Comparaison de la répartition des graines de salicorne dans la carotte de sédiment en fonction des traitements appliqués et de leurs dates de réalisation sur le site du Crotoy en mai 2019

Les relations entre la répartition des graines dans le sol et les traitements et leurs périodes de réalisation ont été analysées à l'aide de tests statistiques.

Le test Shapiro-Wilk, permettant de tester la normalité des distributions a montré que la normalité des distributions n'était pas respectée ($p\text{-value} < 0,0001$, on rejette donc l'hypothèse nulle H_0 et on accepte donc l'hypothèse alternative H_1 au seuil de 5 % : l'échantillon ne suit pas une loi normale).

Le test de Levene, permettant de tester l'homogénéité des variances, a montré que les variances n'étaient pas homogènes ($p\text{-value} < 0,0001$, on rejette donc l'hypothèse nulle H_0 et on accepte donc l'hypothèse alternative H_1 au seuil de 5 % : au moins une des variances est différente d'une autre).

Les conditions d'application des tests statistiques paramétriques (normalité et homoscédasticité) n'étant pas respectées, le test non paramétrique de Kruskal-Wallis a été utilisé.

Le test de Kruskal-Wallis a permis de mettre en évidence qu'il n'y avait **pas de différence significative entre la répartition des graines de salicorne dans la colonne de sol et les différents traitements** ($p\text{-values} > 0,05$ au seuil de 5 %) et qu'il n'y avait **pas de différence significative entre la répartition des graines de salicorne dans la colonne de sol et la période à laquelle était effectuée les traitements** ($p\text{-values} > 0,05$ au seuil de 5 %).

Contrairement aux graines de salicorne, les graines de soude maritime ont été retrouvées enfouies plus profondément dans le sédiment, elles sont principalement retrouvées entre la surface du sédiment et la fraction 8 à 12 cm. Aucune tendance nette de la répartition des graines de soude en fonction du traitement et de sa date de réalisation n'a pu être mise en évidence (*Figure 86*).

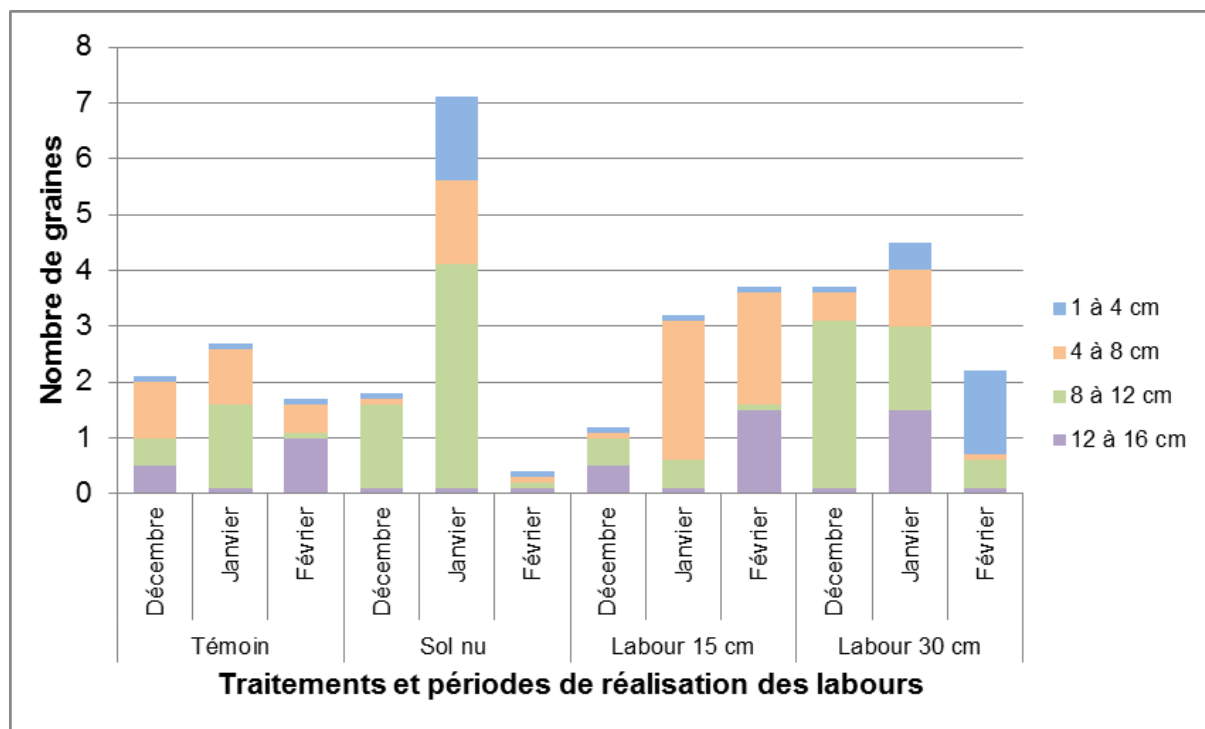


Figure 86 : Comparaison de la répartition des graines de soude dans la carotte de sédiment en fonction des traitements appliqués et de leurs dates de réalisation sur le site du Crotoy en mai 2019

Les relations entre la répartition des graines dans le sol et les traitements et leurs périodes de réalisation ont été analysées à l'aide de tests statistiques.

Le test Shapiro-Wilk, permettant de tester la normalité des distributions a montré que la normalité des distributions n'était pas respectée ($p\text{-value} < 0,0001$, on rejette donc l'hypothèse nulle H_0 et on accepte donc l'hypothèse alternative H_1 au seuil de 5 % : l'échantillon ne suit pas une loi normale).

Le test de Levene, permettant de tester l'homogénéité des variances, a montré que les variances n'étaient pas homogènes ($p\text{-value} < 0,0001$, on rejette donc l'hypothèse nulle H_0 et on accepte donc l'hypothèse alternative H_1 au seuil de 5 % : au moins une des variances est différente d'une autre).

Les conditions d'application des tests statistiques paramétriques (normalité et homoscédasticité) n'étant pas respectées, le test non-paramétrique de Kruskal-Wallis a été utilisé.

Le test de Kruskal-Wallis a permis de mettre en évidence **une différence significative de la répartition des graines de soude pour le traitement sol nu à**

la date du 14/05/2019 (p -value = 0,082 au seuil de 5 %). Le test post hoc de Dunn a permis de mettre en évidence une différence significative entre janvier et février (p -value = 0,029 au seuil de 5 %). Cependant, aucune autre différence significative n'a été mise en évidence **entre la répartition des graines de soude dans la colonne de sol et les différents traitements** (p -values > 0,05 au seuil de 5 %) **ni entre la répartition des graines de soude dans la colonne de sol et la période à laquelle était effectuée les traitements** (p -values > 0,05 au seuil de 5 %).

➤ **Site du Hourdel**

L'analyse des carottes de sédiment réalisées sur le site du Hourdel a permis de mettre en évidence certaines tendances quant à la répartition des graines de salicorne et de soude dans le sol.

Pour les conditions « Témoin » et « Sol nu » la majorité des graines de salicorne (de 60 à 91 %) sont réparties dans la partie supérieure de la carotte (1 à 4 cm) c'est-à-dire en surface du sol. Quelques graines sont également retrouvées dans la fraction allant de 4 à 8 cm de profondeur et la fraction 8 à 12 cm pour les mois de janvier et février. En ce qui concerne les conditions « Labour 15 cm » et « Labour 30 cm », on constate un changement dans la répartition des graines par rapport au témoin, les graines de salicornes sont retrouvées en surface en proportions moindres mais elles sont également retrouvées en proportions plus importantes dans les fractions plus profondes, 1 à 4 cm, 8 à 12 cm et 12 à 16 cm (**Figure 87**).

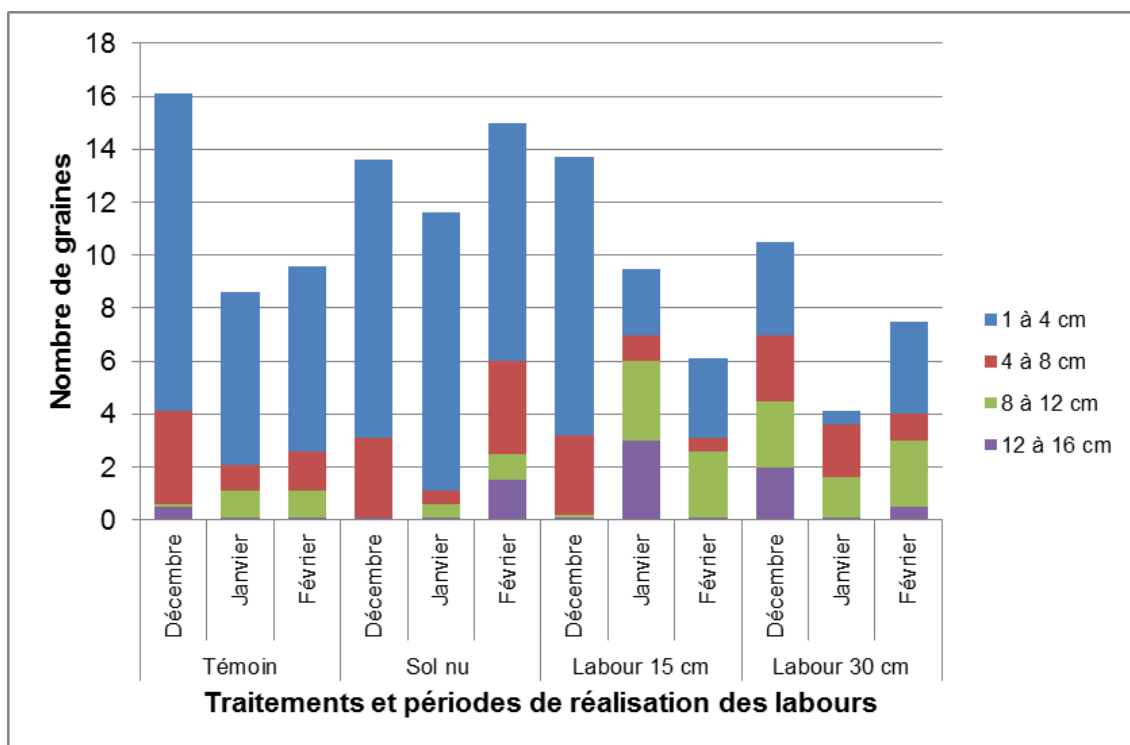


Figure 87 : Comparaison de la répartition des graines de salicorne dans la carotte de sédiment en fonction des traitements appliqués et de leurs dates de réalisation sur le site du Hourdel en mai 2019

Les relations entre la répartition des graines dans le sol et les traitements et leurs périodes de réalisation ont été analysées à l'aide de tests statistiques.

Le test de Kruskal-Wallis a permis de mettre en évidence qu'il n'y avait aucune différence significative **entre la répartition des graines de salicorne dans la colonne de sol et les différents traitements** (p -values > 0,05 au seuil de 5 %) **ni entre la répartition des graines de salicorne dans la colonne de sol et la période à laquelle était effectuée les traitements** (p -values > 0,05 au seuil de 5 %).

Peu de graines de soude maritime ont été retrouvées dans les carottes de sédiment au Hourdel. Les graines ont principalement été retrouvées en surface entre 1 et 4 cm de profondeur. Des graines de soude ont été retrouvées enterrées entre 8 et 12 cm de profondeur dans les parcelles ayant été labourées sur 15 cm de profondeur (**Figure 88**).

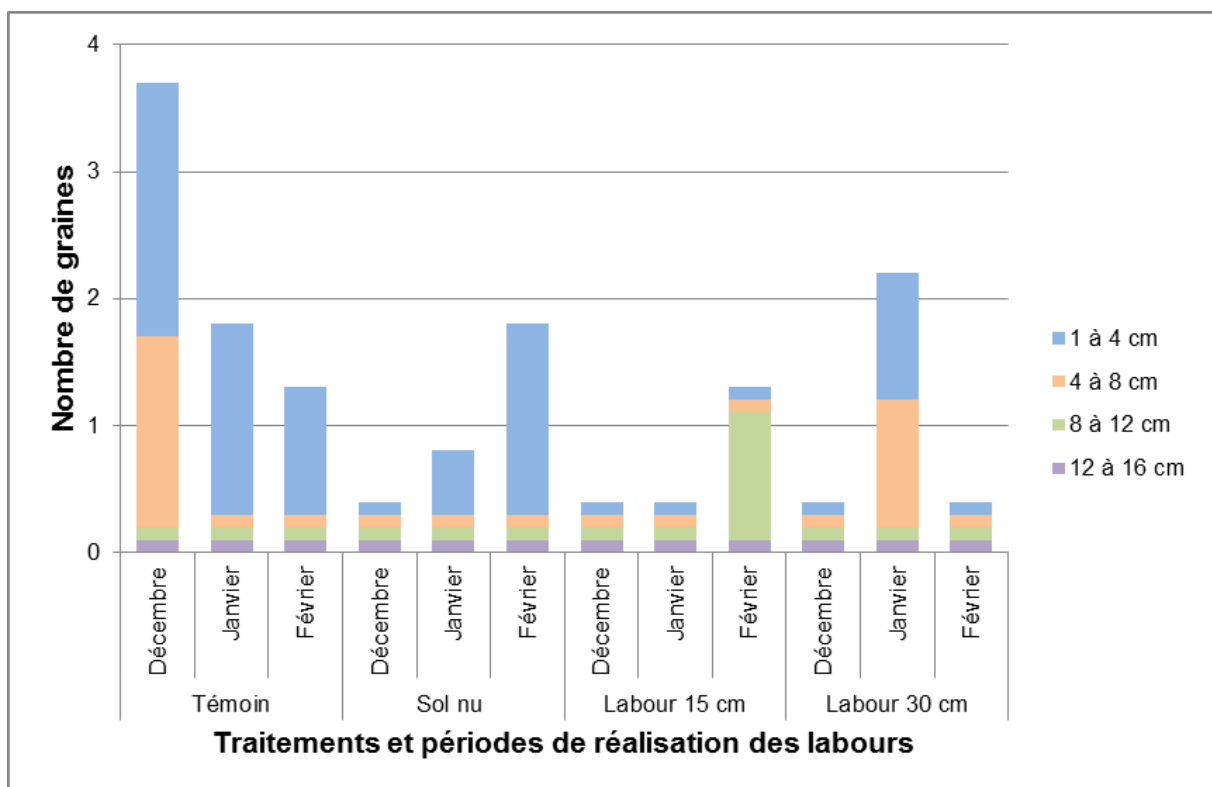


Figure 88 : Comparaison de la répartition des graines de soude dans la carotte de sédiment en fonction des traitements appliqués et de leurs dates de réalisation sur le site du Hourdel en mai 2019

Les relations entre la répartition des graines dans le sol et les traitements et leurs périodes de réalisation ont été analysées à l'aide de tests statistiques.

Le test de Kruskal-Wallis a permis de mettre en évidence **une différence significative de la répartition des graines de soude pour la période de décembre** (p -value = 0,094 au seuil de 5 %). Le test post hoc de Dunn a permis de mettre en évidence une différence significative entre le témoin et les autres

conditions (labour 30 cm, labour 15 cm et sol nu ; p -value = 0,039 au seuil de 5 %). Cependant, aucune autre différence significative n'a été mise en évidence **entre la répartition des graines de soude dans la colonne de sol et les différents traitements** (p -values > 0,05 au seuil de 5 %) **ni entre la répartition des graines de soude dans la colonne de sol et la période à laquelle était effectuée les traitements** (p -values > 0,05 au seuil de 5 %).

3-3-4- Influence de la profondeur d'enfouissement des graines de salicorne et de soude sur leur germination

➤ Site du Crotoy

Le suivi de l'évolution du pourcentage de germination des graines de salicorne et de soude enfouies à 5 cm de profondeur en fonction du temps met en évidence une forte diminution du nombre de graines germées au cours du temps (**Figure 89**). Le graphique montre une diminution massive du nombre de graines germées retrouvées dans les sacs enterrés à 5 cm de profondeur à partir de mi-avril, passant ainsi de 95 % de germination à 15 % de germination pour la soude et d'environ 70 % à 20 % de germination pour la salicorne. De mi-avril à fin mai, le pourcentage de germination reste constant avec environ 10 % de germination des graines de salicorne et 5 % de germination des graines de soude.

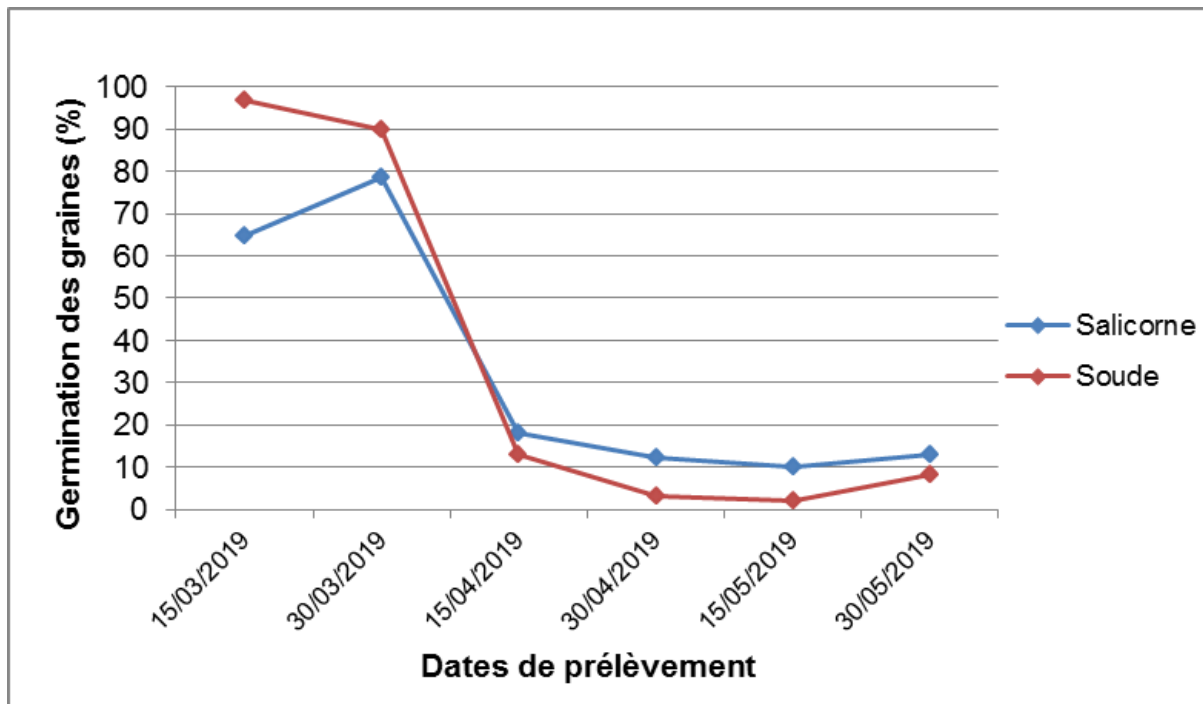


Figure 89 : Suivi de l'évolution du pourcentage de germination des graines de salicorne et de soude enfouies à 5 cm de profondeur au cours du temps, sur le site du Crotoy

Le comptage du nombre de graines germées en fonction de leur profondeur d'enfouissement met en évidence une relation entre le pourcentage de germination et la profondeur à laquelle les graines sont enterrées. En effet, pour la salicorne et pour la soude on constate un pourcentage de germination plus important pour les graines enterrées à 5 cm que pour celles enterrées à 15 et 30 cm de profondeur. Au mois de mars, les graines de salicorne germent à 65 à 80 % lorsqu'elles sont enfouies à 5 cm de profondeur, alors que le taux de germination est compris entre 35 et 40 % pour celles enfouies entre 15 et 30 cm de profondeur (*Figure 90*).

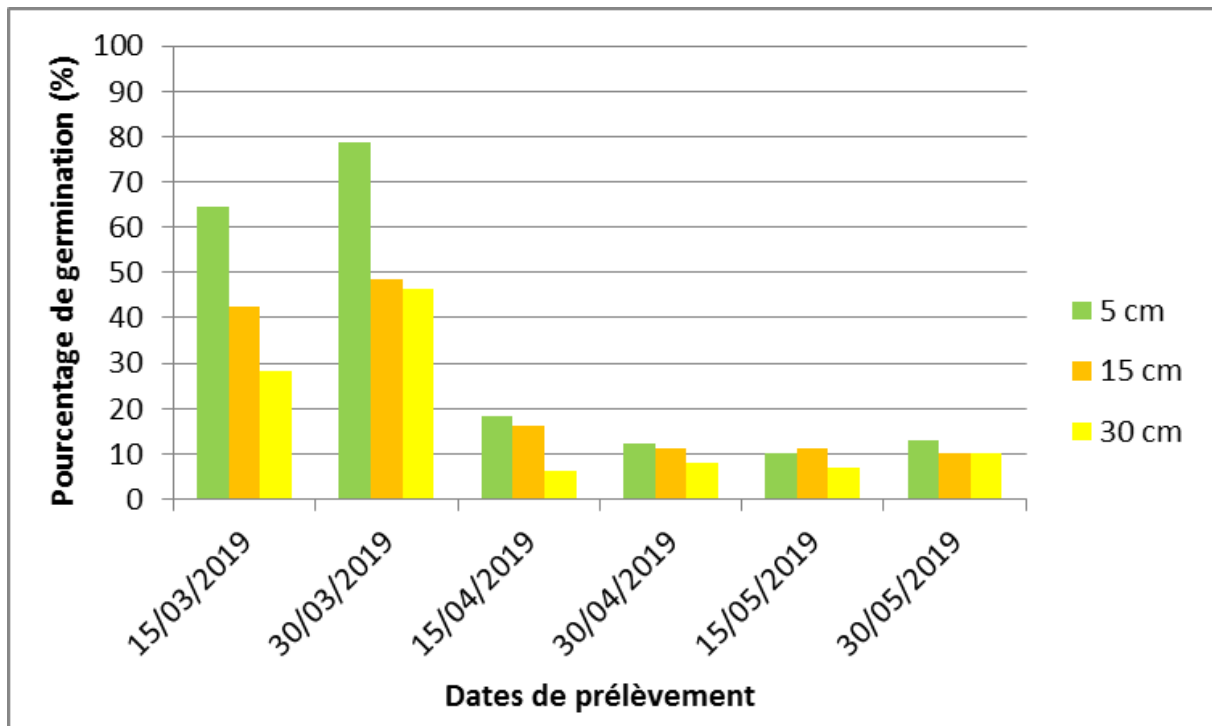


Figure 90 : Comparaison du pourcentage de germination des graines de salicorne en fonction de la profondeur d'enfouissement sur le site du Crotoy

Les graines de soude maritime quant à elles atteignent un taux de germination de 90 à 95 % lorsqu'elles sont enterrées à 5 cm de profondeur, entre 65 et 70 % à 15 cm de profondeur et entre 45 et 55 % lorsqu'elles sont enterrées à 30 cm de profondeur (*Figure 91*).

Pour les deux espèces, on constate une forte diminution du nombre de graines germées à partir de la mi-mai, peu de différences entre les différentes profondeurs d'enfouissement, avec des pourcentages de germination inférieurs à 20 %.

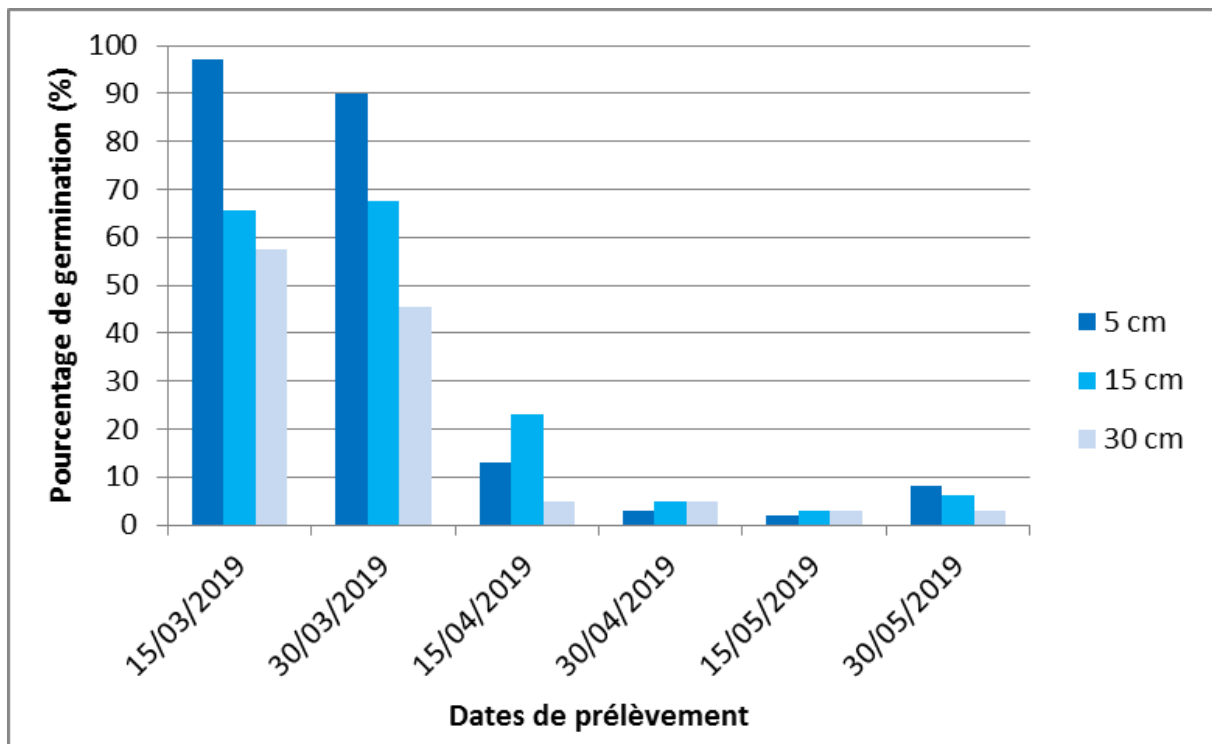


Figure 91 : Comparaison du pourcentage de germination des graines de soude en fonction de la profondeur d'enfouissement sur le site du Crotoy

Les relations entre le pourcentage de germination des graines, leurs profondeurs d'enfouissement et les dates de prélèvements des piquets sur le site du Crotoy ont été analysées à l'aide de tests statistiques.

Le test Shapiro-Wilk, permettant de tester la normalité des distributions a montré que la normalité des distributions n'était pas respectée ($p\text{-value} < 0,0001$, on rejette donc l'hypothèse nulle H_0 et on accepte donc l'hypothèse alternative H_1 au seuil de 5 % : l'échantillon ne suit pas une loi normale).

Le test de Levene, permettant de tester l'homogénéité des variances, a montré que les variances n'étaient pas homogènes ($p\text{-value} < 0,0001$, on rejette donc l'hypothèse nulle H_0 et on accepte donc l'hypothèse alternative H_1 au seuil de 5 % : au moins une des variances est différente d'une autre).

Les conditions d'application des tests statistiques paramétriques (normalité et homoscedasticité) n'étant pas respectées, le test non-paramétrique de Kruskal-Wallis a été utilisé.

Concernant la salicorne, le test de Kruskal-Wallis a permis de mettre en évidence **une différence significative entre la germination des graines de salicorne et la profondeur d'enfouissement entre mi-mars et début avril** ($p\text{-value} = 0,021$ on rejette donc l'hypothèse nulle H_0 et on accepte donc l'hypothèse alternative H_1 au seuil de 5 % : les échantillons proviennent de populations différentes). Le test post hoc de Dunn a permis de mettre en évidence **une différence significative de la germination entre les graines de salicorne enfouies à 5 cm de profondeur et**

celles enfouies à 15 cm (p -value = 0,036 au seuil α de 5 %) **ainsi qu'une différence significative entre les graines enfouies à 5 cm et celles enfouies à 30 cm de profondeur** (p -value = 0,008 au seuil α de 5 %). Il n'existe aucune différence significative de la germination entre les graines enfouies à 15 cm de profondeur et celles enfouies à 30 cm de profondeur (p -value = 0,587 au seuil α de 5 %).

Cependant, **entre début avril et fin-mai, aucune différence significative n'a été mise en évidence entre la germination des graines de salicorne et la profondeur d'enfouissement** (p -value = 0,148 on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 au seuil de 5 % : les échantillons proviennent de la même population).

Concernant la soude maritime, le test de Kruskal-Wallis a permis de mettre en évidence **une différence significative entre la germination des graines de soude et la profondeur d'enfouissement entre mi-mars et mi-avril** (p -value = 0,040 on rejette donc l'hypothèse nulle H_0 et on accepte donc l'hypothèse alternative H_1 au seuil de 5 % : les échantillons proviennent de populations différentes).

Pour la période allant de mi-mars à début avril, le test post hoc de Dunn a permis de mettre en évidence **une différence significative de la germination entre les graines de soude enfouies à 5 cm de profondeur et celles enfouies à 15 cm** (p -value = 0,024 au seuil α de 5 %) **ainsi qu'une différence significative entre les graines enfouies à 5 cm et celles enfouies à 30 cm de profondeur** (p -value = 0,000 au seuil α de 5 %). Il n'existe aucune différence significative de la germination entre les graines enfouies à 15 cm de profondeur et celles enfouies à 30 cm de profondeur (p -value = 0,175 au seuil α de 5 %).

Pour la période allant de mi-mars à mi-avril, le test post hoc de Dunn a permis de mettre en évidence **une différence significative de la germination entre les graines de soude enfouies à 5 cm de profondeur et celles enfouies à 30 cm** (p -value = 0,011 au seuil α de 5 %). Cependant, il n'existe aucune différence significative de la germination entre les graines enfouies à 5 cm de profondeur et celles enfouies à 15 cm de profondeur (p -value = 0,298 au seuil α de 5 %), ni entre celles enfouies à 15 cm de profondeur et celles enfouies à 30 cm de profondeur (p -value = 0,137 au seuil α de 5 %).

Cependant, **entre mi-avril et fin-mai, aucune différence significative n'a été mise en évidence entre la germination des graines de soude et la profondeur d'enfouissement** (p -value = 0,541 on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 au seuil de 5 % : les échantillons proviennent de la même population).

➤ **Site du Hourdel**

Le suivi de l'évolution du pourcentage de germination des graines de salicorne et de soude enfouies à 5 cm de profondeur en fonction du temps a permis de mettre en évidence une diminution constante du nombre de graines germées au cours du temps entre mi-mars et mi-avril, passant de 75 % à 20 % pour la salicorne et de 65 % à 10 % pour la soude. On observe une stabilisation du pourcentage de germination de mi-avril à fin mai, avec environ 20 % de germination des graines de salicorne et 10 % des graines de soude (*Figure 92*).

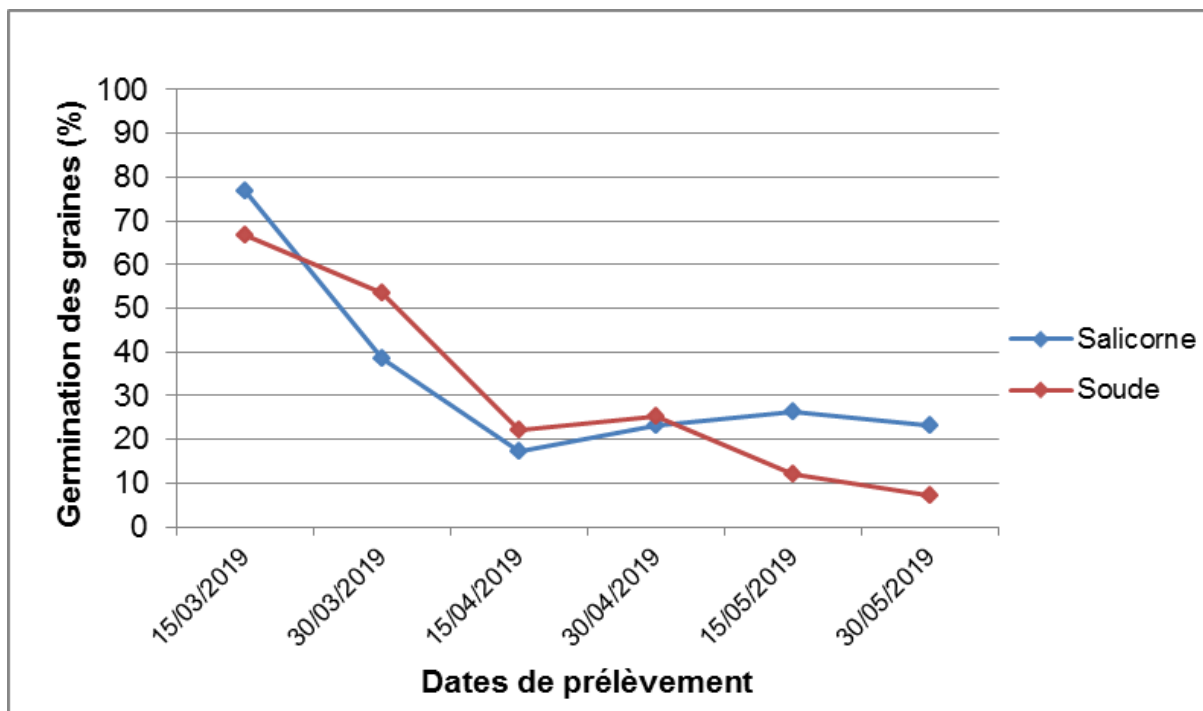


Figure 92 : Suivi de l'évolution du pourcentage de germination des graines de salicorne et de soude enfouies à 5 cm de profondeur au cours du temps, sur le site du Hourdel

Le comptage du nombre de graines germées en fonction de leur profondeur d'enfouissement met en évidence une relation entre le pourcentage de germination et la profondeur à laquelle les graines sont enterrées. En effet, au mois de mars, on constate un pourcentage de germination plus important pour les graines de salicorne et de soude enterrées à 5 cm que pour celles enterrées à 15 et 30 cm de profondeur. A la mi-mars, les graines de salicorne germent à 75 % lorsqu'elles sont enfouies à 5 cm de profondeur, alors que le taux de germination est de 50 % à 15 cm et 30 % pour celles enfouies à 30 cm de profondeur (*Figure 93*).

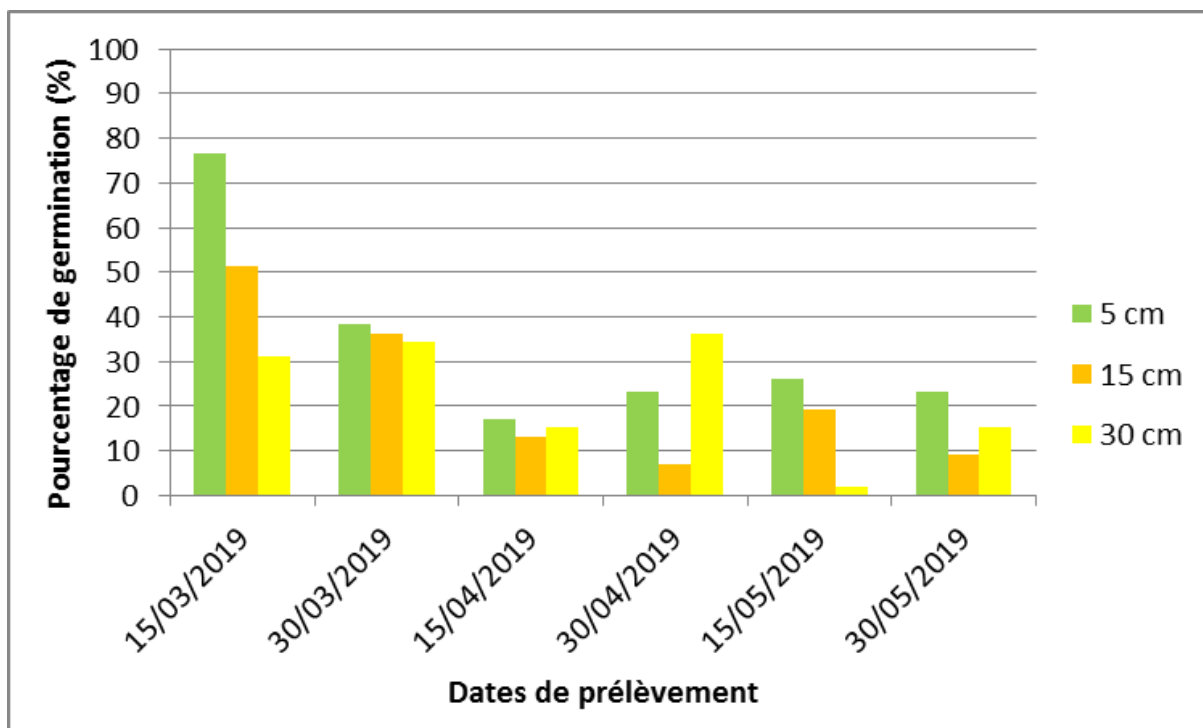


Figure 93 : Comparaison du pourcentage de germination des graines de salicorne en fonction de la profondeur d'enfouissement sur le site du Hourdel

En mars, les graines de soude maritime, quant à elles, atteignent un taux de germination de 55 à 65 % lorsqu'elles sont enterrées à 5 cm de profondeur, entre 50 et 62 % à 15 cm de profondeur et entre 25 et 43 % lorsqu'elles sont enterrées à 30 cm de profondeur (**Figure 94**).

Pour les deux espèces, on constate une diminution du pourcentage de graines germées à partir de fin mars et une forte diminution dès la mi-mai, avec des différences peu marquées entre les différentes profondeurs d'enfouissement, avec des pourcentages de germination généralement inférieurs à 20 %.

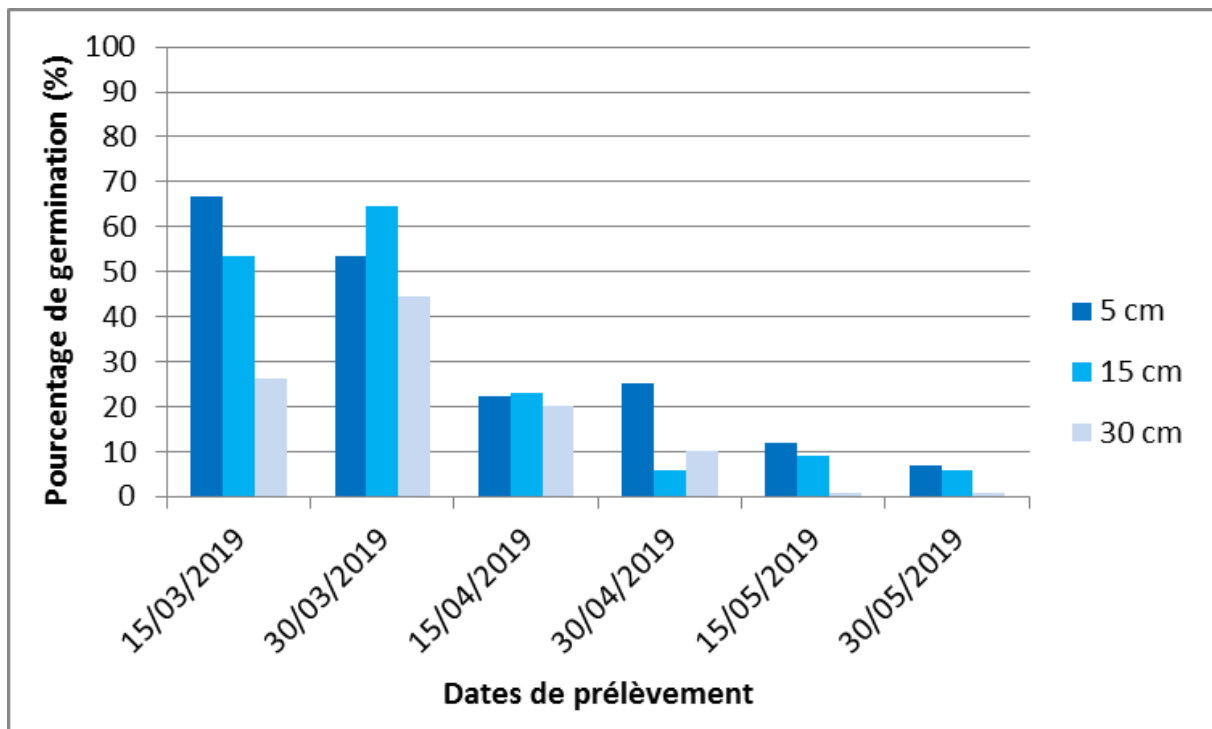


Figure 94 : Comparaison du pourcentage de germination des graines de soude en fonction de la profondeur d'enfouissement sur le site du Hourdel

Les relations entre le pourcentage de germination des graines, leurs profondeurs d'enfouissement et les dates de prélèvements des piquets sur le site du Hourdel ont été analysées à l'aide de tests statistiques.

Concernant la salicorne, le test de Kruskal-Wallis a permis de mettre en évidence **une différence significative entre la germination des graines de salicorne et la profondeur d'enfouissement à la mi-mars** (p -value = 0,078 on rejette donc l'hypothèse nulle H_0 et on accepte donc l'hypothèse alternative H_1 au seuil de 5 % : les échantillons proviennent de populations différentes). Le test post hoc de Dunn a permis de mettre en évidence **une différence significative de la germination entre les graines de salicorne enfouies à 5 cm de profondeur et celles enfouies à 30 cm** (p -value = 0,025 au seuil α de 5 %). Il n'existe cependant aucune différence significative de la germination entre les graines enfouies à 5 cm de profondeur et celles enfouies à 15 cm de profondeur (p -value = 0,870 au seuil α de 5 %), ni entre celles enfouies à 15 cm et celles enfouies à 30 cm de profondeur (p -value = 0,870 au seuil α de 5 %).

Cependant, **entre début avril et fin-mai, aucune différence significative n'a été mise en évidence entre la germination des graines de salicorne et la profondeur d'enfouissement** (p -value = 0,733 on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 au seuil de 5 % : les échantillons proviennent de la même population).

Concernant la soude maritime, le test de Kruskal-Wallis a permis de mettre en évidence **une différence significative entre la germination des graines de soude**

et la profondeur d'enfouissement entre mi-mars et mi-avril (p -value = 0,038 on rejette donc l'hypothèse nulle H_0 et on accepte donc l'hypothèse alternative H_1 au seuil de 5 % : les échantillons proviennent de populations différentes). Le test post hoc de Dunn a permis de mettre en évidence **une différence significative de la germination entre les graines de salicorne enfouies à 5 cm de profondeur et celles enfouies à 30 cm** (p -value = 0,022 au seuil α de 5 %) **ainsi qu'une différence significative entre les graines enfouies à 15 cm et celles enfouies à 30 cm de profondeur** (p -value = 0,0033 au seuil α de 5 %). Il n'existe cependant aucune différence significative de la germination entre les graines enfouies à 5 cm de profondeur et celles enfouies à 15 cm de profondeur (p -value = 0,870 au seuil α de 5 %).

Cependant, **entre mi-avril et fin-mai, aucune différence significative n'a été mise en évidence entre la germination des graines de soude et la profondeur d'enfouissement** (p -value = 0,142 on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 au seuil de 5 % : les échantillons proviennent de la même population).

3-4- Expérimentations au laboratoire

3-4-1- Influence de la salinité sur la germination de la salicorne et de la soude

Le suivi du pourcentage de germination des graines de salicorne en fonction de la salinité au laboratoire a permis de mettre en évidence certaines tendances (**Figure 95**). La vitesse de germination la plus rapide est atteinte à 0 PSU bien que le pourcentage de germination atteigne 87 % au bout de 15 jours. Les meilleurs taux de germination sont atteints pour des salinités allant de 0,1 à 1,5 PSU avec des taux avoisinant les 95 % de germination après 15 jours d'incubation. Les graines soumises à 3 PSU montrent une vitesse de germination plus lente et un taux de germination de 77 % au bout de 15 jours.

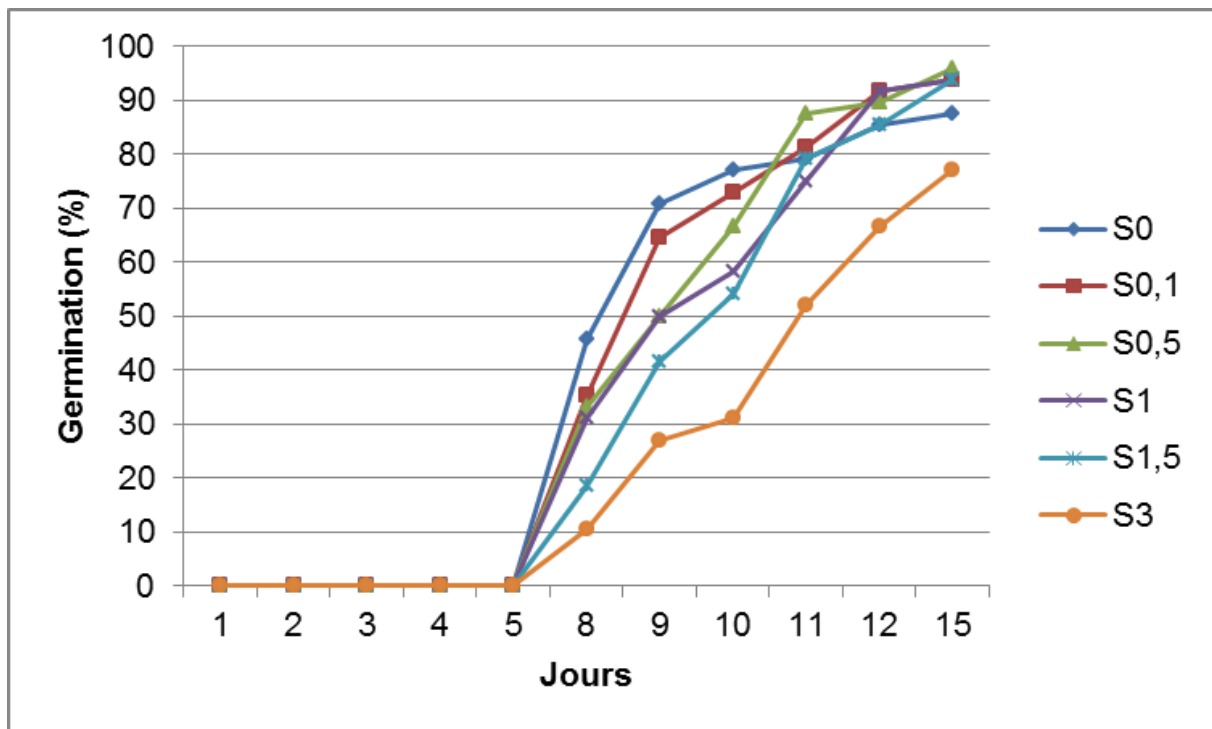


Figure 95 : Influence de la salinité (exprimée en PSU) sur la germination de la salicorne

La relation entre le taux de germination des graines de salicorne et la salinité a été analysée à l'aide de tests statistiques.

Le test Shapiro-Wilk, permettant de tester la normalité des distributions a montré que la normalité des distributions n'était pas respectée ($p\text{-value} < 0,0001$, on rejette donc l'hypothèse nulle H_0 et on accepte donc l'hypothèse alternative H_1 au seuil de 5 % : l'échantillon ne suit pas une loi normale).

Le test de Levene, permettant de tester l'homogénéité des variances, a montré que les variances n'étaient pas homogènes ($p\text{-value} = 0,312$, on ne peut donc pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 au seuil de 5 % : les variances sont homogènes).

Les conditions d'application des tests statistiques paramétriques (normalité) n'étant pas respectées, le test non paramétrique de Kruskal-Wallis a été utilisé.

Le test de Kruskal-Wallis a permis de mettre en évidence qu'il n'y avait aucune **différence significative entre la germination des graines de salicorne et la salinité** ($p\text{-value} = 0,346$ au seuil α de 5 %).

Le suivi du pourcentage de germination des graines de soude en fonction de la salinité au laboratoire a permis de mettre en évidence différentes tendances ([Figure 96](#)). La vitesse de germination est supérieure pour les salinités comprises entre 0 et 1,5 PSU, les pourcentages de germination au bout de 15 jours sont compris entre 85 et 97 %. Le pourcentage de germination le plus important est de 97 % avec une salinité de 0,1 PSU. Les graines de soude soumises à une salinité de 3 PSU germent

plus lentement et atteignent un plateau à seulement 55 % de germination au bout de 15 jours d'incubation.

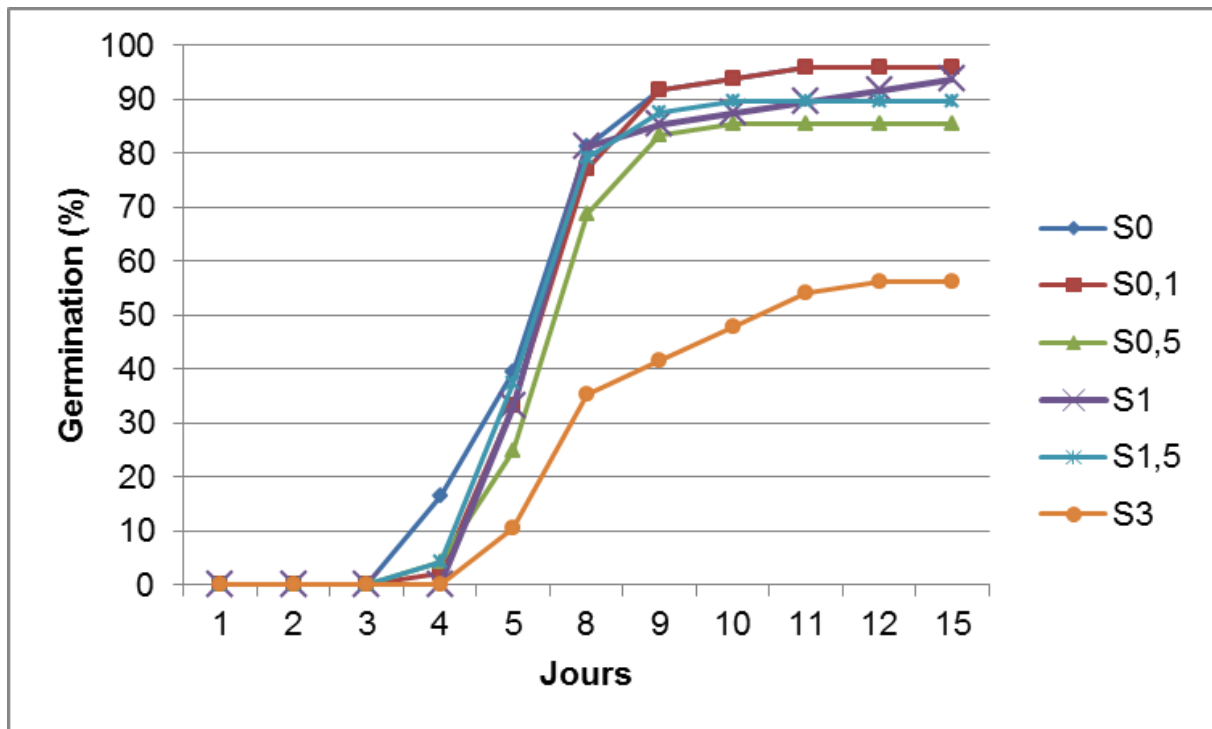


Figure 96 : Influence de la salinité (exprimée en PSU) sur la germination de la soude

La relation entre le taux de germination des graines de soude maritime et la salinité a été analysée à l'aide de tests statistiques.

Le test Shapiro-Wilk, permettant de tester la normalité des distributions a montré que la normalité des distributions n'était pas respectée ($p\text{-value} < 0,0001$, on rejette donc l'hypothèse nulle H_0 et on accepte donc l'hypothèse alternative H_1 au seuil de 5 % : l'échantillon ne suit pas une loi normale).

Le test de Levene, permettant de tester l'homogénéité des variances, a montré que les variances n'étaient pas homogènes ($p\text{-value} = 0,001$, on rejette donc l'hypothèse nulle H_0 et on accepte donc l'hypothèse alternative H_1 au seuil de 5 % : au moins une des variances est différente d'une autre).

Les conditions d'application des tests statistiques paramétriques (normalité et homoscedasticité) n'étant pas respectées, le test non-paramétrique de Kruskal-Wallis a été utilisé.

Le test de Kruskal-Wallis a permis de mettre en évidence **une différence significative entre la germination des graines de soude et la salinité** ($p\text{-value} = 0,050$ on rejette donc l'hypothèse nulle H_0 et on accepte donc l'hypothèse alternative H_1 au seuil de 5 % : les échantillons proviennent de populations différentes). Le test post hoc de Dunn a permis de mettre en évidence **une différence significative de la germination entre les graines de soude exposées à une salinité de 0 PSU et**

celles exposées à 3 PSU (p -value = 0,004 au seuil α de 5 %) **ainsi qu'entre celles exposée à 0,1 PSU et celles exposées à 3 PSU** (p -value = 0,007 au seuil α de 5 %). Il n'existe cependant aucune différence significative de la germination entre les graines mises à germer à d'autres salinités (p -value >0,05 au seuil α de 5 %).

3-4-2- Influence de la profondeur d'enfouissement des graines de salicorne et de soude sur leur germination

Une relation a été mise en évidence entre le nombre de graines de soude germées ayant atteint la surface et la profondeur à laquelle étaient enfouies les graines (**Figure 97**). En effet, les graines enfouies à 1 cm de profondeur montrent de meilleurs taux de germination, bien que ceux-ci restent faibles (environ 50 %). Les graines enfouies à 1 cm de profondeur montrent également une vitesse de germination plus rapide en comparaison avec celles enfouies à 5 et 10 cm. Les graines enfouies à 5 cm sont 25 % à atteindre la surface du sédiment au bout de 50 jours alors qu'il ne faut qu'une dizaine de jours aux graines enfouies à 1 cm de profondeur pour atteindre ce taux. Aucune graine enterrée à 10 cm de profondeur n'a réussi à atteindre la surface du sédiment. A la fin de l'expérimentation, les pots contenant le sédiment et les graines ont été triés et les graines de soude ont été récupérées. Les graines ont été mises à germer dans des boîtes de pétri dans une eau à 0,5 PSU de salinité et placées en conditions optimales de germination. Au bout de quelques jours, l'ensemble de ces graines avait germé.

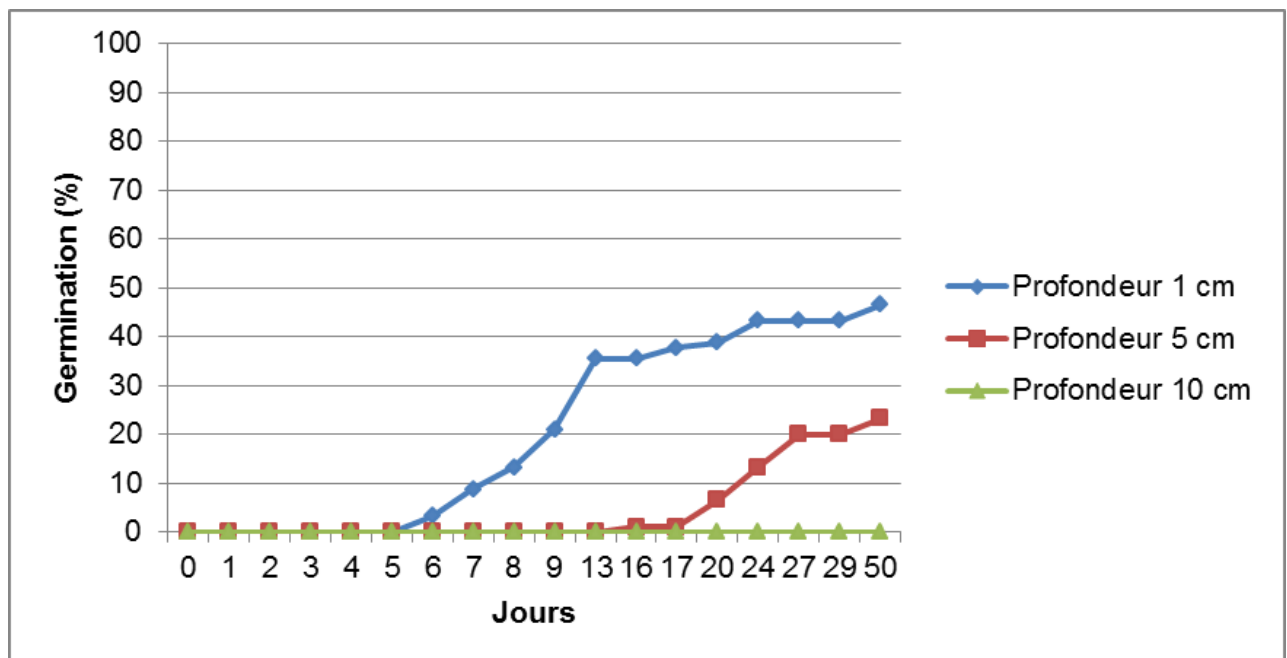


Figure 97 : Influence de la profondeur d'enfouissement des graines (1 cm / 5 cm / 10 cm) sur la germination de la soude au laboratoire

L'expérience a également été réalisée avec des graines de salicorne, mais les résultats n'étant pas concluants, ils ne seront pas présentés sous forme de graphique dans ce rapport. Les graines de salicorne, bien qu'elles n'aient pas réussi à se

transformer en jeunes plants et traverser le sédiment, ont été triées et récupérées au bout de 50 jours. Elles ont été placées dans des boîtes de pétri dans une eau à 0,5 PSU de salinité et placées en conditions optimales de germination. Au bout de quelques jours, l'ensemble des graines de salicorne avait germé.

La relation entre le taux de germination des graines de soude maritime et la profondeur d'enfouissement des graines a été analysée à l'aide de tests statistiques.

Le test Shapiro-Wilk, permettant de tester la normalité des distributions a montré que la normalité des distributions n'était pas respectée ($p\text{-value} < 0,0001$, on rejette donc l'hypothèse nulle H_0 et on accepte donc l'hypothèse alternative H_1 au seuil de 5 % : l'échantillon ne suit pas une loi normale).

Le test de Levene, permettant de tester l'homogénéité des variances, a montré que les variances n'étaient pas homogènes ($p\text{-value} < 0,0001$, on rejette donc l'hypothèse nulle H_0 et on accepte donc l'hypothèse alternative H_1 au seuil de 5 % : au moins une des variances est différente d'une autre).

Les conditions d'application des tests statistiques paramétriques (normalité et homoscedasticité) n'étant pas respectées, le test non-paramétrique de Kruskal-Wallis a été utilisé.

Le test de Kruskal-Wallis a permis de mettre en évidence **une différence significative entre la germination des graines de soude maritime et la profondeur d'enfouissement** ($p\text{-value} < 0,009$ on rejette donc l'hypothèse nulle H_0 et on accepte donc l'hypothèse alternative H_1 au seuil de 5 % : les échantillons proviennent de populations différentes). Le test post hoc de Dunn a permis de mettre en évidence **une différence significative de la germination entre les graines de soude enfouies à 1 cm de profondeur et celles enfouies à 5 cm** ($p\text{-value} = 0,017$ au seuil α de 5 %), **une différence significative de la germination entre les graines de soude enfouies à 1 cm de profondeur et celles enfouies à 10 cm** ($p\text{-value} < 0,0001$ au seuil α de 5 %) et enfin **une différence significative de la germination entre les graines de soude enfouies à 5 cm de profondeur et celles enfouies à 10 cm** ($p\text{-value} = 0,046$ au seuil α de 5 %).

4- Discussion

Caractérisation des sites expérimentaux

Météorologie

La baie de Somme est sous l'influence d'un climat océanique caractérisé par une faible amplitude thermique avec des étés tempérés et des hivers relativement doux. La durée moyenne de l'insolation est de 1638 heures avec un maximum en juillet et un minimum en décembre. La température moyenne est de 16,7°C. Le mois de janvier est le plus froid (3°C de moyenne) et les mois de juillet et d'août sont les plus chauds. Le nombre moyen annuel de jours de gel est de 48,4. Les précipitations moyennes annuelles sont de 731,5 mm et sont bien réparties dans l'année. Le nombre moyen annuel de jours de précipitations est de 180. Dans 76 % des cas, les vents soufflent avec une vitesse comprise entre 2 et 8m/s. Les vents les plus forts soufflent en hiver et sont de secteur ouest.

Les données météorologiques relevées de décembre 2018 à juin 2019 ont été comparées aux données mensuelles relevées en baie de Somme de 1973 à 2018. Les durées d'ensoleillement ont été comparées aux données mensuelles relevées entre 1999 et 2018.

Au mois de décembre, la température minimale moyenne était de 1,73°C, la température maximale moyenne de 7,67°C, la moyenne des précipitations de 94,9 mm et la durée d'ensoleillement moyenne de 57,3 heures. En décembre 2018, la température minimale moyenne a été de 4,7°C et la température maximale moyenne de 9,3°C. Les précipitations cumulées ont atteint 118,3 mm et la durée d'ensoleillement moyenne a été de 44,6 heures. Le mois de décembre 2018 a donc été caractérisé par des températures relativement douces, de fortes précipitations et une durée d'ensoleillement réduite par rapport à la moyenne.

Au mois de janvier, la température minimale moyenne était de 1,03°C, la température maximale moyenne de 7,27°C, la moyenne des précipitations de 74,38 mm et la durée d'ensoleillement moyenne de 64,3 heures. En janvier 2019, la température minimale moyenne a été de 1,97°C et la température maximale moyenne de 6,31°C. Les précipitations cumulées ont atteint 46,4 mm et la durée d'ensoleillement moyenne a été de 36,9 heures. Le mois de janvier 2019 a donc été caractérisé par des températures de saison et de précipitations et d'une durée d'ensoleillement inférieures à la moyenne.

Au mois de février, la température minimale moyenne était de 0,54°C, la température maximale moyenne de 7,84°C, la moyenne des précipitations de 55,75 mm et la durée d'ensoleillement moyenne de 85,1 heures. En février 2019, la température minimale moyenne a été de 3,1°C et la température maximale moyenne de 11,5°C.

Les précipitations cumulées ont atteint 35,8 mm et la durée d'ensoleillement moyenne a été de 140,4 heures. Le mois de février 2019 a donc été caractérisé par des températures douces, de faibles précipitations et une durée d'ensoleillement supérieure à la moyenne.

Au mois de mars, la température minimale moyenne était de 2,6°C, la température maximale de 10,89°C, la moyenne des précipitations de 63,63 mm et la durée d'ensoleillement moyenne de 133 heures. En mars 2019, la température minimale moyenne a été de 6,13°C et la température maximale moyenne de 11,97°C. Les précipitations cumulées ont atteint 56 mm et la durée d'ensoleillement moyenne a été de 113,2 heures. Le mois de mars 2019 a donc été caractérisé par des températures élevées et de précipitations et d'une durée d'ensoleillement inférieures à la moyenne.

Au mois de d'avril, la température minimale moyenne était de 4,28°C, la température maximale moyenne de 13,84°C, la moyenne des précipitations de 54,48 mm et la durée d'ensoleillement moyenne de 187,96 heures. En avril 2019, la température minimale moyenne a été de 5,49°C et la température maximale moyenne de 15,39°C. Les précipitations cumulées ont atteint 39,6 mm et la durée d'ensoleillement moyenne a été de 191,4 heures. Le mois d'avril 2019 a donc été caractérisé par de faibles précipitations et des températures et une durée d'ensoleillement supérieures à la moyenne.

Au mois de mai, la température minimale moyenne était de 7,62°C, la température maximale moyenne de 17,38°C, la moyenne des précipitations de 66,1 mm et la durée d'ensoleillement moyenne de 195,95 heures. En mai 2019, la température minimale moyenne a été de 7,75°C et la température maximale moyenne de 17,15°C. Les précipitations cumulées ont atteint 23,8 mm et la durée d'ensoleillement moyenne a été de 214,4 heures. Le mois de mai 2019 a donc été caractérisé par des températures de saison, de faibles précipitations et une durée d'ensoleillement supérieure à la moyenne.

Au mois de juin, la température minimale moyenne était de 10,59°C, la température maximale moyenne de 20,06°C, la moyenne des précipitations de 70,46 mm et la durée d'ensoleillement moyenne de 212 heures. En juin 2019, la température minimale moyenne a été de 12,43°C et la température maximale moyenne de 22,56°C. Les précipitations cumulées ont atteint 60,6 mm et la durée d'ensoleillement moyenne a été de 246,8 heures. Le mois de juin 2019 a donc été caractérisé par de faibles précipitations et des températures et une durée d'ensoleillement supérieures à la moyenne.

En hiver, une forte pluviométrie entraîne un lessivage du sel en surface et un abaissement de la conductivité sans pour autant apporter de modification en profondeur. Au contraire, au printemps, la durée d'ensoleillement augmente et l'évapotranspiration entraîne la concentration du sel en surface.

La salinité a une influence primordiale sur la germination des graines de salicorne, mais l'humidité est également importante. L'ensoleillement, la température et l'évapotranspiration sont également des facteurs importants. Une faible humidité, une forte évaporation et une longue insolation vont entraîner la concentration en sel au niveau du sédiment et bloquer la germination. A pluviométrie égale, les températures basses affectent la tolérance au sel des graines et améliorent leur vitesse et leur capacité de germination (Grouzis, 1973 et Langlois, 1966).

Le Goff (1999) a mis en évidence qu'une pluviométrie de 60 à 70 mm et une humidité de 55 % par mois permettait une bonne germination alors qu'une pluviométrie de 30 mm par mois et une humidité de 52 % diminuait la densité de moitié. La régularité de la pluviométrie est également un facteur important à considérer. Il a également montré que plus l'humidité est élevée, et inversement plus la durée d'ensoleillement, l'évapotranspiration et la conductivité sont faibles au moment des semis et plus la densité de levée est importante.

Khan & Weber (1986), ont montré que la température et la photopériode avaient une influence sur la germination des graines, les photopériodes hivernales étant plus favorables que les photopériodes estivales.

Les conditions de salinité, humidité et ensoleillement sont donc primordiales pour la germination des salicornes et de la soude maritime.

Caractéristiques granulométriques

L'entrée de la baie est soumise à un fort hydrodynamisme responsable de la formation de méga-rides sableuses. En zone abritée (en fond de baie et en arrière du poulier du Hourdel), la sédimentation est plus vaseuse. Ces sédiments anoxiques sont riches en matières organiques et permettent le développement rapide d'une végétation pionnière dont les systèmes racinaires stabilisent le substrat. La sédimentation est importante en fond de baie ainsi qu'à l'embouchure de la Maye.

Le substrat est principalement constitué de sables fins quartzeux (médiane comprise entre 200 et 300 μm), principalement originaires de la Manche, le reste provenant de la désagrégation de coquillages et de silex. Les apports continentaux de substrats sont négligeables (Granger, 2003).

De l'embouchure de la baie jusqu'en fond de baie, les sables s'affinent du fait de la diminution de la puissance des courants de marée et de la houle permettant le dépôt des particules en suspension. Ainsi, les bancs externes, le centre et le nord de la baie sont des zones sableuses alors que le sud et le fond de la baie sont des zones vaseuses. En effet, les deux sites expérimentaux du Crotoy et du Hourdel sont caractérisés respectivement par des sédiments vaseux et des vases sableuses. Dans les chenaux d'accès aux ports du Crotoy et de Saint Valéry, le fort hydrodynamisme entraîne une prédominance de sables fins, la proportion de sablons

et de vase augmentant au fur et à mesure que l'on s'éloigne du centre des chenaux (Granger, 2003).

Expérimentations réalisées sur le terrain

Mesures de croissance

Les mesures de la croissance des plants de salicorne et de soude maritime dans des zones labourées et non labourées sur les sites du Crotoy et du Hourdel ont permis de mettre en évidence qu'il n'y avait pas de différence significative de croissance entre les deux sites expérimentaux dans les zones non labourées.

Des différences de la taille des plants de salicorne et de soude ont été mises en évidence entre les zones labourées et les zones non labourées sur le site du Crotoy. Les plants de salicorne et de soude maritime sont plus grands au niveau des zones non labourées. Ces différences sont significatives pour la période comprise entre mi-février et mi-mai, puis au fur et à mesure que les plantes se développent, les différences deviennent non significatives. Ainsi, le travail du sol entraîne des différences de croissance des plants de salicorne et de soude au début de leur développement, puis les plantes rattrapent leur retard de croissance. Ces différences peuvent s'expliquer par le fait que les graines de salicorne et de soude sont enfouies plus profondément dans le sédiment dans les zones labourées, demandant plus d'énergie à la graine pour se développer. Le fait que les plants des zones labourées arrivent à rattraper leur retard de croissance peut s'expliquer par le fait qu'il y ait plus de lumière disponible et moins de compétition intra et interspécifique dans ces zones. Le Goff (1999) a constaté que le travail du sol, en diminuant la densité, produisait des plantes plus ramifiées et mieux développées.

Il n'a pas été possible de comparer l'effet du labour sur la croissance de la salicorne et de la soude sur le site du Hourdel car les zones qui devaient être labourées au niveau de la concession du Hourdel n'ont pas pu être travaillées en 2019. En effet, les engins motorisés devant réaliser les travaux n'ont pas pu accéder à la zone avant la fin du délai autorisé pour la réalisation des labours.

Des travaux de labours ont été réalisés au niveau de la concession du Cap Hornu au mois de février, mais à cette période tardive, les sols sont plus meubles et les engins ont fait face à des problèmes d'enlisement.

La faisabilité des travaux de labours au niveau des concessions de végétaux marins dépend de l'accessibilité et donc des coefficients de marée. ***Il existe une forte contrainte temporelle quant à l'accessibilité des zones, commencer les travaux dès les mois de novembre ou décembre permettrait de s'assurer que tous les travaux planifiés par l'Association de Ramasseurs de Salicorne de la baie de Somme puissent être effectués dans les temps impartis.***

Un travail du sol plus précoce permettrait également que les graines de salicorne et de soude bénéficient de conditions optimales de salinité et de température pour leur

germination. En effet, la germination de *S. fragilis* est précoce et peut se produire dès fin janvier alors que la germination de *S. maritima* se produit généralement à partir de fin février (Tessier *et al.*, 2000). La germination est fortement liée à la baisse de la salinité en surface du sol, entraînée par les précipitations hivernales (Langlois, 2000). Langlois (2000) a également mis en évidence que plus les salicornes germent tôt et plus elles produiront de graines.

En 2019, des épisodes de gel et de grêle ont eu lieu et nous avons pu constater que les plants âgés de plusieurs semaines ont résisté à ces conditions alors que les plus jeunes plants n'ont pas survécu.

Les pêcheurs à pied, quant à eux, n'ont pas remarqué de différence ou d'effet négatif du labour sur la croissance ou la qualité de la salicorne et de la soude. Les variations annuelles de production observées étant plutôt liées aux conditions météorologiques.

Composition floristique en fonction de l'historique des labours

Baie de Somme nord

L'analyse de la composition floristique des quadrats réalisés en baie de Somme nord a mis en évidence que la végétation était dominée par un mélange de salicorne et de soude maritime. D'autres espèces viennent s'associer à de plus faibles pourcentages, telles que l'aster maritime, la spartine anglaise, l'obione et la puccinellie. L'ensemble des quadrats est caractérisé par une forte proportion de sol nu variant de 40 à 50 % de la surface totale. La spartine anglaise est présente en faibles proportions sur trois zones (Labour en 2010 ; Labours en 2017 et 2019) et la plus forte proportion (12,3 %) est retrouvée dans la zone ayant été travaillée en 2008 / 2009 / 2011 / 2012 / 2014 / 2016 / 2017 / 2019.

Cette étude a permis de démontrer qu'il n'y avait aucune différence significative dans la composition floristique entre les différents points de prélèvement. Ce qui indique que pour les points de prélèvements effectués dans cette étude, le travail du sol n'a pas eu d'influence significative sur la composition et le pourcentage de présence des espèces végétales présentes ni sur le pourcentage de sol nu.

Baie de Somme sud

L'analyse de la composition floristique des quadrats réalisés en baie de Somme sud a mis en évidence que la végétation était composée d'un mélange de salicorne, soude maritime, asters, spartine anglaise, obione et puccinellie. La spartine anglaise est présente dans les relevés réalisés au niveau de points n'ayant pas été labourés au cours des deux dernières années (2018, 2019). Le pourcentage de présence de la spartine anglaise atteint 39,6 % sur le point ayant été travaillé le plus régulièrement (2007 / 2009 / 2010 / 2011 / 2012 / 2015 / 2016 / 2017).

La présence de spartine anglaise dans la zone la plus travaillée peut paraître contradictoire mais peut s'expliquer de plusieurs manières. En effet, il est difficile de connaître précisément quel était le pourcentage de présence de spartine avant le début des travaux au niveau de cette zone, celui-ci ayant pu diminuer. De plus, les zones choisies pour la réalisation des travaux de labour sont actualisées chaque année, après une prospection sur le terrain réalisée par le GEMEL, afin de répondre le mieux possible aux besoins, les zones présentant le plus de spartine anglaise étant travaillées plus régulièrement.

Enfin, après réalisation du labour, les plants de spartine anglaise ne sont pas exportés hors des concessions de végétaux marins. L'éradication de la spartine anglaise est compliquée, dans la mesure où il faut être parfaitement certain que dans un lieu donné, toutes les tiges souterraines ont été extirpées. En effet, chaque fragment de spartine (tige ou rhizome) a la capacité de recréer de nouvelles colonies une fois échoué (Caillon *et al.*, 2012).

Cependant, ces pratiques sont appuyées par les études réalisées par Davey (1993) et Meirland *et al.*, (2010), qui ont montré que des passages fréquents de rotavator sur une même zone pouvait conduire à l'éradication totale de la spartine.

Le Goff (1999) a, quant à lui, mis en évidence que les interventions mécaniques avaient un effet significatif sur les peuplements de salicornes. Alors que les travaux de labour ont un effet favorable, les travaux de fauche avec exportation du matériel végétal et l'association fauche-labour ont un effet défavorable sur les peuplements de salicornes. Bethelot (2013) a constaté que la salicorne était favorisée par le travail du sol et que sa progression était proportionnelle au nombre de labours réalisés.

Cette étude a permis de mettre en évidence des différences significatives entre la composition floristique et les différents points de prélèvement.

Les points ayant été labourés en 2019, sont caractérisés par la dominance de la salicorne et de la soude maritime, l'absence de spartine anglaise et une forte proportion de sol nu. Les points n'ayant pas été labourés depuis 2010 sont, quant à eux, caractérisés par une plus forte diversité spécifique, une forte présence d'obione, une absence de salicorne et un pourcentage de sol nu relativement faible. Ces différences par rapport aux autres points peuvent notamment s'expliquer par la localisation de ces points en fond de baie, en lisière de l'obionaie. Ces zones ne sont pas soumises aux mêmes conditions (courants, exondation, régime des marées, ...).

Cette étude a également mis en évidence une plus forte proportion de soude par rapport à la salicorne au niveau des zones labourées. Ce phénomène a été observé dans les concessions du Hourdel par les pêcheurs à pied qui ont remarqué que la soude avait tendance à se développer sur des étendues monospécifiques, au profit de la salicorne, dans les zones ayant été labourées. Cette tendance a également été mise en évidence par Bethelot (2013), qui a constaté que le nombre de labour était lié à l'augmentation des densités de soude maritime.

Les pêcheurs à pied ont constaté que les labours avaient un effet bénéfique quant à la diminution de la spartine anglaise dans les concessions de végétaux marins. Cependant, au fil des années, ils ont également constaté que la spartine s'installait de plus en plus en lisière de mollière, gagnant du terrain sur la baie et provoquant peu à peu des phénomènes d'ensablement.

La spartine est en régression dans la plus grande partie des zones de concession comme l'ont montré les études de Desprez (2002) et de Bethelot (2013). Cependant, elle reste très présente dans les zones en limite de végétation s'étant végétalisées entre 2006 et 2019. Cette forte présence en lisière de mollière s'explique par le caractère pionnier de la spartine qui colonise de façon très efficace les zones non-végétalisées. Elle fait partie des premiers stades de la succession écologique des milieux estuariens ce qui peut également expliquer sa régression dans les zones de concession (Gehu *et al.*, 1975). Il a été déterminé qu'il fallait deux à trois ans pour que le développement de la spartine gêne le ramassage des salicornes et que les labours avaient pour effet de rajeunir le milieu de façon durable (Desprez, 2002). L'avancée de la végétation vers la mer permet aux communautés végétales de bien s'installer, d'autres espèces des stades suivants de la succession écologique vont ensuite prendre la place des espèces pionnières. Il est cependant intéressant de considérer que les salicornes sont également des plantes pionnières faisant partie des stades jeunes de la succession écologique (Gehu *et al.*, 1975). La compétition intraspécifique n'est donc pas suffisante pour entraîner la régression de la spartine anglaise et les travaux réalisés dans les concessions de végétaux marins permettent de limiter son expansion.

La spartine anglaise ayant tendance à fortement transformer le milieu où elle s'installe (changements topographiques, sédimentaires ou de circulation de l'eau ...), la restauration des zones où celle-ci est présente depuis plus de 10 ans ne garantit pas un retour aux habitats caractéristiques prévalant son installation. La lutte contre la spartine anglaise est donc à privilégier dans les zones où la plante s'est installée récemment et où elle ne forme pas encore de colonies denses (Levy *et al.*, 2015).

Un effort d'éradication des jeunes plants et colonies de spartine avec le retrait d'un maximum de fragments et de rhizomes permettrait de limiter la propagation de cette espèce invasive à de nouvelles zones par l'intermédiaire des courants (Levy *et al.*, 2015).

Les pêcheurs à pied ont également remarqué une progression de la puccinellie et de la spartine dans les concessions. En rajeunissant le milieu, les labours ont cependant tendance à provoquer la stagnation du développement de la puccinellie, qui fait partie des stades suivants de succession écologique. Une des solutions qu'ils avaient proposées était la fauche et l'exportation de la spartine et de la puccinellie au mois de juin avant l'arrivée en graines de ces plantes. Cette demande a cependant été rejetée par la DDTM qui n'autorise pas les travaux de fauche sur les concessions.

La période de floraison de la spartine se produit entre les mois d'août et octobre. Des travaux de fauche avec exportation du matériel végétal à cette époque de l'année coïncideraient avec la floraison et la fructification de la salicorne et de la soude maritime, ce qui aurait à terme un effet néfaste sur ces espèces. Granger (2003) a d'ailleurs montré que les travaux de labour réalisés en profondeur ont considérablement limité la germination des salicornes s'ils étaient précédés d'une fauche avec extirpation du matériel végétal. En éliminant les pieds-mères, la banque de graines est fortement diminuée. Il faut également prendre en considération le fait que la reproduction sexuée n'est pas le mode de reproduction principal de la spartine anglaise, sa forte compétitivité est liée à ses capacités de reproduction végétative. Des travaux de fauche affecteraient principalement les capacités de reproduction sexuée de la spartine mais n'aurait qu'un effet limité sur le contrôle de son développement.

Relevés floristiques réalisés au niveau des labours expérimentaux

Site du Crotoy

Le comptage du nombre de plants de salicorne, soude maritime et aster maritime par mètre carré d'avril à juin 2019 au niveau des parcelles expérimentales a permis de mettre en évidence qu'il n'y avait pas de différence significative entre le nombre de plants de salicorne, de soude et d'asters et les traitements utilisés mais qu'il y avait une différence significative entre le nombre de plants de salicorne, de soude et la période à laquelle était réalisé le traitement.

Les différences sont présentes au mois de décembre, janvier et février entre les conditions où le sol n'a pas été travaillé (« Témoin » et « Sol nu ») et celles où le sol a été travaillé (« Labour 15 cm » et « Labour 30 cm »).

Une diminution du nombre de plants au mètre carré dans le temps a pu être mise en évidence, il s'agit d'un phénomène d'auto-éclaircissement ou « self-thinning » qui a déjà été mis en évidence dans la littérature scientifique. En effet, ces résultats concordent avec ceux d'Ellison (1989) et de Tessier *et al.* (2000) qui ont mis en évidence des phénomènes de mortalité densité-dépendante chez *Suaeda maritima*. Cependant, ces résultats sont contradictoires avec Jefferies *et al.* (1981) et Riehl & Ungar, (1982) qui avaient montré qu'aucun phénomène de mortalité densité-dépendante n'était présent chez *Salicornia spp.*

Les densités de salicorne et de soude maritime (environ 1000 individus/m²) observées à la fin du printemps sont similaires aux densités mesurées par Zambettakis (1987). Tessier *et al.* (2000) ont mis en évidence que la compétition intraspécifique influençait fortement la dynamique de *Suaeda maritima* et que l'augmentation de la densité s'accompagnait d'une modification de la morphologie de *Suaeda maritima*. À faible densité, cette plante présente un aspect très ramifié alors qu'à forte densité, elle a tendance à être moins ramifiée, plus petite et donc à avoir

une biomasse moindre. Ces changements morphologiques provoqués par une augmentation de la densité pourraient résulter d'une réduction de la disponibilité en lumière (Ellison, 1987). Le Goff (1999) a constaté que de fortes densités de salicornes provoquent une forte compétition intraspécifique et entraînent des modifications morphologiques importantes (plantes chétives, peu ramifiées et rougissant fortement). Ces changements constituent une stratégie de survie face aux fortes densités et permettent de limiter la mortalité.

D'autres tendances ont pu être mises en évidence. En effet, il semble que la croissance des jeunes plants de salicorne soit favorisée sur les parcelles « Témoin » alors que la croissance des jeunes plants de soude soit favorisée sur les parcelles « Sol nu » où le couvert végétal a été éliminé. Il a également été constaté que le nombre de plants de soude et de salicorne était largement inférieur au niveau des zones ayant été travaillées et que le pourcentage de sol nu était important. Ceci peut être expliqué par le fait que les graines de salicornes et de soude enfouies plus profondément dans le sédiment ont plus de difficultés à germer (Lehraiki Semrade, 2008 ; Tessier *et al.*, 2000 ; Clements *et al.*, 1996). En effet, l'enfouissement prolongé des graines dans des conditions d'oxygène et d'humidité non optimales peut entraîner leur pourrissement. Ces résultats peuvent également s'expliquer par le fait que le retournement du sol, selon la période à laquelle il est réalisé (fructification ou non) a entraîné un déplacement de la banque de graines. Dans les milieux fermés, les banques de graines sont peu déplacées alors que dans les milieux ouverts soumis aux marées, les banques de graines subissent d'importants déplacements (Le Goff, 1999).

La synthèse de l'ensemble des relevés effectués d'avril à juin 2019 a permis de mettre en évidence que le nombre de plants de soude et de salicorne était plus important pour la condition « Labour 15 cm » que pour la condition « Labour 30 cm », ce qui veut dire **qu'un labour trop profond a un effet négatif à court terme sur la croissance de ces espèces.**

Concernant la condition « Labour 15 cm », la densité de salicorne est plus importante lorsque le labour est réalisé en décembre et elle décroît d'autant plus que le labour est effectué plus tardivement en janvier ou février. Il semblerait que le phénomène inverse se produise avec la densité de soude maritime, plus le labour est réalisé tardivement et plus la densité est importante. Ce phénomène peut s'expliquer par le fait que la germination de la salicorne est plus précoce et peut se produire à partir de fin janvier alors que celle de la soude se produit généralement à partir de fin février (Langlois, 2000). Un labour plus tardif aurait donc un effet négatif plus important sur la croissance de la salicorne que sur celle de la soude maritime.

Le suivi de la croissance de la salicorne et de la soude maritime sur ces mêmes parcelles expérimentales au niveau du site du Crotoy a mis en évidence une croissance régulière dans le temps pour les deux espèces mesurées. Cette étude a montré qu'il n'y avait pas de différence significative entre la taille de plants de

salicorne et de soude et les traitements utilisés ni entre la taille de plants de salicorne et de soude et la période à laquelle sont réalisés les traitements. Ainsi, si des différences de croissance peuvent apparaître entre les conditions dans les premiers stades de développement, le retard de croissance est rattrapé au cours du temps et ces plantes sont suffisamment développées pour être récoltées par les pêcheurs à pied à l'ouverture de la pêche. Si toutefois des différences surviennent, elles permettent aux pêcheurs de bénéficier de zones où la salicorne et la soude maritime sont plus jeunes, donc moins lignifiées et d'allonger ainsi la période pendant laquelle ils peuvent récolter et commercialiser ces végétaux.

A court terme, le travail du sol semble influencer la densité de ces espèces plutôt que leur croissance. Les zones de sol nu montrent une plus forte densité ce qui peut s'expliquer par le fait qu'il y ait un meilleur accès à la lumière dû à l'absence de végétation de l'année précédente et à une plus faible densité d'individus au mètre carré.

Site du Hourdel

Le comptage du nombre de plants de salicorne, soude maritime et aster maritime par mètre carré d'avril à juin 2019 au niveau des parcelles expérimentales du site du Hourdel a permis de mettre en évidence qu'il y avait une différence significative entre le nombre de plants de salicorne et les traitements utilisés ainsi qu'une différence significative entre le nombre de plants de soude et le traitement « Labour 30 cm ».

Les différences de la densité de salicorne sont significatives lorsque le travail du sol est réalisé en janvier et février et il y a une différence significative de la densité de soude maritime lorsque le travail du sol est réalisé en février. Là encore une diminution du nombre de plants au mètre carré dans le temps, ou phénomène d'auto-éclaircissement a pu être mise en évidence. Il a également été constaté que le nombre de plants de salicorne et de soude était inférieur au niveau des zones ayant été travaillées et que le pourcentage de sol nu était important.

La synthèse de l'ensemble des relevés effectués d'avril à juin 2019 a permis de mettre en évidence une dominance de la salicorne aux mois de décembre et janvier pour les conditions « Témoin », « Sol nu » et « Labour 15 cm ». Un nombre de plants de salicorne faible pour la condition « Labour 30 cm » alors que le nombre de plants de soude maritime est peu différent des autres conditions. Ce qui semble indiquer que la salicorne est affectée plus négativement par un labour plus profond que la soude. Le Goff (1999) a constaté lors de ces expérimentations que les graines semées dans des parcelles non travaillées mais fauchées (comparable à la condition « Sol nu » dans l'expérimentation présentée ici) avaient mieux germées. L'élimination des vieux plants de salicorne par la fauche a limité l'ombrage et amélioré la germination.

Un nombre de plants de salicorne et de soude maritime au mètre carré inférieur sur les parcelles expérimentales du Hourdel par rapport à celles du Crotoy a été

observé, bien que les densités soient globalement similaires à celles retrouvées dans d'autres études (Zambettakis, 1987).

Le suivi de la croissance de la salicorne et de la soude maritime sur ces mêmes parcelles expérimentales a mis en évidence une croissance régulière dans le temps pour les deux espèces mesurées. Cette étude a montré qu'il n'y avait pas de différence significative entre la taille de plants de salicorne et de soude et les traitements utilisés ni entre la taille de plants de salicorne et de soude et la période à laquelle sont réalisés les traitements. Cependant, même si les différences ne sont pas significatives, au mois de juin la taille de la salicorne et de la soude est plus importante dans les parcelles ayant été labourées. Ce phénomène peut là encore être expliqué par le fait que ces plantes ont un meilleur accès à la lumière.

Le Goff (1999) a constaté que c'est le travail du sol en profondeur qui avait permis d'éliminer au mieux la spartine sans pour autant trop nuire à la germination ni à la banque de graines de la salicorne. En revanche, les travaux de tassage et de fauches ont donné peu de résultats quant à l'éradication de la spartine. La fauche préalable avec enlèvement du matériel végétal a entraîné une forte régression des densités de salicornes, les plants encore riches en graines ont été exportés et ont diminué le stock de graines utilisables. Ces travaux ont également montré que les dates d'intervention des travaux étaient très importantes pour les espèces annuelles. Des travaux réalisés en novembre ont agi sur les plantes sénescents en fin de fructification et ont joué un rôle de disséminateur de graines alors que des travaux réalisés en avril ont décimé les jeunes plants de salicornes et ont fortement diminué leur densité.

Carottages

Site du Crotoy

L'analyse des carottes de sédiment réalisées sur le site du Crotoy a permis de mettre en évidence certaines tendances quant à la répartition des graines de salicorne et de soude dans le sol.

Pour les conditions « Témoin », « Sol nu » et « Labour 15 cm », la majorité des graines de salicorne sont réparties à la surface du sol. En ce qui concerne la condition « Labour 30 cm », on constate un changement dans la répartition des graines par rapport au témoin, les graines de salicornes sont retrouvées en proportions moindres à la surface du sédiment mais elles sont également retrouvées plus en profondeur. Le travail du sol a entraîné un enfouissement des graines dans le sédiment. Plus la profondeur du labour est importante et plus les graines sont enfouies profondément. Cependant, cette étude a permis de mettre en évidence qu'il n'y avait pas de différence significative entre la répartition des graines de salicorne dans la colonne de sol et les différents traitements et qu'il n'y avait pas de différence significative entre la répartition des graines de salicorne dans la colonne de sol et la période à laquelle était effectuée les traitements.

Contrairement aux graines de salicorne, les graines de soude maritime ont été retrouvées enfouies plus profondément dans le sédiment, elles sont principalement retrouvées entre la surface du sédiment et la fraction 8 à 12 cm. Aucune tendance nette de la répartition des graines de soude en fonction du traitement et de sa date de réalisation n'a pu être mise en évidence. Là encore, les relations entre la répartition des graines de soude dans le sol et les traitements et leurs périodes de réalisation ont mis en évidence qu'il n'y avait pas de différence significative entre la répartition des graines de soude dans la colonne de sol et les différents traitements, ni entre la répartition des graines de soude dans la colonne de sol et la période à laquelle était effectués les traitements.

Ces résultats peuvent s'expliquer en partie par le faible nombre de graines pris en compte et le nombre limité de carottes de sédiment réalisées.

Site du Hourdel

L'analyse des carottes de sédiment réalisées sur le site du Hourdel a permis de mettre en évidence certaines tendances quant à la répartition des graines de salicorne et de soude dans le sol.

Pour les conditions « Témoin » et « Sol nu » la majorité des graines de salicorne (de 60 à 91 %) sont réparties à la surface du sol. Cependant, on constate un changement dans la répartition des graines pour les conditions « Labour 15 cm » et « Labour 30 cm ». Les graines de salicornes sont retrouvées en surface en proportions moindres mais elles sont également retrouvées en proportions plus importantes dans les fractions plus profondes. Le travail du sol a entraîné un enfouissement des graines dans le sédiment. Cependant cette étude a permis de mettre en évidence qu'il n'y avait aucune différence significative entre la répartition des graines de salicorne dans la colonne de sol et les différents traitements, ni entre la répartition des graines de salicorne dans la colonne de sol et la période à laquelle était effectuée les traitements.

Peu de graines de soude maritime ont été retrouvées dans les carottes de sédiment au Hourdel. Les graines ont principalement été retrouvées en surface entre 1 et 4 cm de profondeur. Cette étude a permis de mettre en évidence une différence significative de la répartition des graines de soude pour la période de décembre entre le « Témoin » et les autres conditions (« Labour 30 cm », « Labour 15 cm » et « Sol nu »). Cependant, aucune autre différence significative n'a été mise en évidence entre la répartition des graines de soude dans la colonne de sol et les différents traitements, ni entre la répartition des graines de soude dans la colonne de sol et la période à laquelle était effectuée les traitements.

L'expérience avait pour but de voir si les labours avaient une influence sur la répartition des graines dans le sédiment et s'il n'y avait pas trop de graines enfouies profondément donc une perte importante du potentiel germinatif.

Les résultats montrent que les graines de salicorne et de soude sont retrouvées enfouies plus profondément dans les parcelles labourées à 15 et 30 cm de profondeur en comparaison aux parcelles « Témoin » et « Sol nu ».

Le labour, en enfouissant les graines en profondeur, peut donc entraîner une perte du potentiel germinatif des graines de salicorne et de soude maritime. En effet, Tessier *et al.* (2000) ont mis en évidence que les graines de soude maritime retrouvées enfouies dans le sédiment après la période de germination printanière n'étaient pas viables, alors que celles retrouvées en surface arrivaient toutes à germer. Cependant, pour compenser les pertes liées à des conditions biotiques et abiotiques défavorables, ces espèces produisent un très grand nombre de graines. En effet, la production de graines de salicorne est estimée entre 550 et 1050 graines par individu (Langlois, 2000). Ce nombre est variable, mais est corrélé à la période de germination. Plus une salicorne germe tôt et plus elle produit de graines. Les graines sont principalement dispersées par le vent et la marée. Elles ont tendance à s'accumuler dans les anfractuosités du sol et dans la couche supérieure du sédiment (0-1,5 cm), pouvant parfois atteindre plus de 9000 graines/m² (Langlois, 2000).

De plus, après maturation, des graines peuvent rester dans les inflorescences des plants mères de salicorne et de soude, ceci permet une dissémination progressive des graines dans le milieu et la possibilité de coloniser de nouvelles zones, avec le déplacement par flottaison des plantes mères séchées (Meirland *et al.*, 2008). Une des stratégies de la soude maritime consiste à adapter sa production de graines aux densités permettant de constituer une banque de graines et d'établir ainsi de nouvelles populations en colonisant de nouveaux environnements (Tessier *et al.*, 2000).

Enfin les phénomènes de dormance permettent aux graines de conserver leur potentiel germinatif pendant plusieurs années en attendant des conditions optimales pour se développer.

Enfouissement de graines

Les résultats obtenus lors de cette expérimentation peuvent être considérés comme similaires entre les graines de salicorne et celles de soude maritime et entre les sites expérimentaux du Crotoy et du Hourdel.

Le suivi du pourcentage de germination des graines de salicorne et de soude enfouies à 5 cm de profondeur en fonction du temps met en évidence une forte diminution du nombre de graines germées au cours du temps. En effet, il a été constaté une diminution massive du nombre de graines germées retrouvées dans les sacs enterrés à 5 cm de profondeur à partir de mi-avril, pour la soude et la salicorne.

Ce phénomène peut s'expliquer par le fait que la germination de la salicorne peut se produire à partir de fin janvier et que celle de la soude se produit généralement à partir de fin février, bien qu'elles puissent continuer jusqu'au mois d'avril/mai (Langlois, 2000).

Le comptage du nombre de graines germées en fonction de leur profondeur d'enfouissement met en évidence une différence significative entre le pourcentage de germination et la profondeur à laquelle les graines sont enterrées. En effet, pour la salicorne et pour la soude on constate un pourcentage de germination plus important pour les graines enterrées peu profondément (5 cm) que pour celles enterrées en profondeur (15 et 30 cm). Il n'y a cependant pas de différence significative de germination entre les graines enterrées à 15 cm de profondeur et celles enterrées à 30 cm de profondeur.

Cette diminution peut s'expliquer par le fait que les graines de soude et de salicorne sont entrées en phase de germination mais qu'elles n'ont pas réussi à atteindre la surface du sédiment et ont dépéri. Ce phénomène de pourrissement des jeunes plantules enfouies en profondeur au cours du temps a été constaté au laboratoire. En effet, la phase de germination est une période critique et les graines ont des besoins en humidité et en air spécifiques. Si les graines restent enfouies trop longtemps dans le sédiment, elles peuvent pourrir du fait d'un manque d'oxygène ou d'une humidité excessive. Clements *et al.* (1996) ont mis en évidence que le labour pouvait enfouir la graine à une profondeur de plantation inadéquate et l'obligeait à utiliser toutes ses ressources avant d'atteindre la surface. Tessier *et al.* (2000) ont d'ailleurs conclu que la mortalité des graines et des plants de soude en développement était un facteur critique affectant la densité. La mortalité était principalement attribuée à des facteurs physiques tels que l'anoxie durant les immersions, l'enfouissement des graines par le sédiment et pourrait expliquer l'absence d'une banque de graines dans le sédiment.

Il a également été constaté par Lehraiki Semrade (2008) que les graines de salicornes enfouies plus profondément dans le sédiment avaient plus de difficultés à germer.

Les autres graines qui ont été retrouvées sont probablement entrées dans un stade de dormance, en attendant des conditions plus favorables à leur germination. Ce phénomène a été observé par Lehraiki Semrade (2008) qui a mis en évidence que les graines de salicornes produites germent l'année suivante ou rentrent en dormance, gardant leur potentiel germinatif pendant plusieurs années.

Expérimentations réalisées au laboratoire

Influence de la salinité sur la germination de graines

Le suivi du pourcentage de germination des graines de salicorne en fonction de la salinité au laboratoire a permis de mettre en évidence que la vitesse de germination la plus rapide est atteinte à 0 PSU de salinité mais que la germination des graines n'était pas totale. Les meilleurs taux de germination sont atteints pour des salinités allant de 0,1 à 1,5 PSU. Les graines soumises à de plus fortes salinités (supérieures à 3 PSU) montrent une vitesse de germination et un taux de germination réduits. Cependant, cette étude a montré que les différences observées entre la germination des graines de salicorne et la salinité n'étaient pas significatives.

Ces résultats rejoignent ceux de Grouzis *et al.* (1977) et de Keiffer *et al.* (1994) qui ont montré que la gamme de salinité correspondant à une croissance optimale se situe entre 0,005 % et 1 % de NaCl pour de nombreuses espèces de salicornes annuelles. Orlovsky *et al.* (2016) ont, quant à eux, mis en évidence qu'une exposition à une eau salée à 0,5 % serait idéale pour obtenir 100 % de germination des graines de *S. europaea*. Les graines exposées à une salinité plus élevée ne perdraient pas leur pouvoir germinatif mais leur taux de germination serait moindre et leur germination serait plus longue. Ces résultats sont cependant contraires à ceux de Grouzis (1974) et Langlois (2000) qui ont montré que c'est en l'absence de salinité qu'un taux de germination de 100 % est atteint.

Les précipitations hivernales et printanières jouent un rôle important dans le développement de la salicorne, une hygrométrie élevée au niveau des sols permet la dilution des sels et donc la germination des graines. La salinité du sol étant en partie dépendante de la pluviométrie, les salicornes sont capables de s'adapter à des fortes variations de salinité (Ungar, 1973). En plus d'influencer fortement la germination des graines de salicorne, la salinité et la composition ionique ont un effet sur la croissance des plants et le développement de tiges secondaires (Orlovsky *et al.*, 2016). D'après Granger (2003), la germination est favorisée par une salinité plus faible, cependant le processus est également dépendant des phénomènes de dormance. La tolérance des graines au sel est améliorée par une bonne vernalisation par le froid humide, qui augmente leur vitesse et leur capacité de germination.

En fonction des espèces, le degré de salinité ayant une influence sur la germination est très variable.

Le suivi du pourcentage de germination des graines de soude en fonction de la salinité au laboratoire a permis de mettre en évidence que la vitesse de germination est supérieure pour les salinités comprises entre 0 et 1,5 PSU. La salinité de 0,1 PSU permettrait une germination optimale des graines. Les graines de soude soumises à de plus fortes salinités (supérieures à 3 PSU) ont une vitesse de germination et un taux de germination réduit de moitié. La relation entre le taux de germination des graines de soude maritime et la salinité a permis de mettre en évidence une différence significative entre la germination des graines de soude et la salinité. Avec une différence significative de la germination entre les graines de soude exposées à une salinité de 0 PSU et celles exposées à 3 PSU ainsi qu'entre celles exposées à 0,1 PSU et celles exposées à 3 PSU.

Ces résultats sont similaires à ceux de Tessier *et al.* (2000) qui ont montré que la germination de la soude maritime était optimale lorsque la salinité était faible et coïncidait avec l'augmentation des températures et une pluviométrie importante. Ils ont également mis en évidence l'effet inhibiteur de la salinité sur le potentiel de germination des graines.

Bien que la soude maritime soit considérée comme une espèce halophyte relativement tolérante à la salinité (Shumway & Bertness, 1992), il a été mis en évidence chez deux variétés différentes, une relation entre la résistance des graines à la salinité et leur capacité à survivre dans leurs habitats respectifs. Les graines de *Suaeda maritima* sont ainsi capables de germer lorsqu'elles sont soumises à de fortes salinités, mais leur potentiel de germination est moindre (Ungar, 1962 ; Binet & Boucaud, 1968). La mortalité des graines en phase de germination est un facteur critique affectant les densités de soude maritime et pourrait expliquer l'absence d'une banque de graines permanente dans le sol (Tessier *et al.*, 2000).

Influence de la profondeur d'enfouissement des graines sur leur germination

Une relation a été mise en évidence entre le nombre de graines de soude germées ayant atteint la surface et la profondeur à laquelle étaient enfouies les graines. En effet, les graines enfouies à 1 cm de profondeur montrent les meilleurs taux de germination, bien que ceux-ci restent faibles (environ 50 %). Les graines enfouies à 1 cm de profondeur montrent également une vitesse de germination plus rapide en comparaison avec celles enfouies à 5 et 10 cm. Aucune graine enterrée à 10 cm de profondeur n'a réussi à atteindre la surface du sédiment. Cette étude a montré une différence significative entre la germination des graines de soude maritime et la profondeur d'enfouissement. Avec une différence significative de la germination entre les graines de soude enfouies à 1 cm de profondeur et celles enfouies à 5 cm, une différence significative de la germination entre les graines de soude enfouies à 1 cm de profondeur et celles enfouies à 10 cm et enfin une différence significative de la

germination entre les graines de soude enfouies à 5 cm de profondeur et celles enfouies à 10 cm.

A la fin de l'expérimentation, les pots contenant le sédiment et les graines ont été triés et les graines de soude ont été récupérées. Il a été constaté que certaines graines étaient entrées en germination mais n'avaient pas réussi à atteindre la surface du sédiment. Les graines restantes ont été mises à germer dans des boîtes de pétri dans une eau à 0,5 PSU de salinité et placées en conditions optimales de germination. Au bout de quelques jours, l'ensemble de ces graines avait germé.

L'expérience a également été réalisée avec des graines de salicorne, mais les résultats n'ont pas été concluants, certainement dû à un manque d'eau durant le déroulement de l'expérimentation, ou à un trop fort tassement du sédiment. Les graines de salicorne, bien qu'elles n'aient pas à germer et à traverser le sédiment, ont été triées et récupérées au bout de 50 jours. Elles ont été placées dans des boîtes de pétri dans une eau à 0,5 PSU de salinité et placées en conditions optimales de germination. Au bout de quelques jours, l'ensemble des graines de salicorne avait germé.

Là encore ces résultats mettent en évidence qu'une graine placée à une profondeur inadéquate doit allouer une dépense énergétique supérieure afin d'atteindre la surface du sédiment pour se développer. Ils montrent également que les stades de développement précoces sont soumis à une forte mortalité, qui peut être attribué à des facteurs physiques tels que l'anoxie durant les immersions et l'enfouissement des graines dans le sédiment (Tessier *et al.*, 2000). Le Goff (1999) a mis en évidence que les travaux effectués avaient un effet sur la germination des graines de salicorne et que l'enfouissement des graines par un rotavator diminuait leur germination. Huiskes *et al.*, (1985) ont montré qu'une augmentation de la sédimentation pouvait affecter le nombre de graines germées. Des graines enfouies sous une couche de 1 cm de sédiment, même si elles germent, sont incapables d'atteindre la surface. Le labour, en enfouissant les graines, affecte leur photosensibilité et diminue les conditions d'éclairement, faisant chuter considérablement les taux de germination (Eudeline, 1993).

Ces résultats mettent également en évidence la sensibilité des graines et les limites des expérimentations au laboratoire. Le Goff (1999) a mis en évidence que la période à laquelle étaient récoltées les graines avait une influence significative sur la vitesse de germination et la capacité germinative. Plus la récolte est tardive et plus la vitesse et la capacité germinative augmentent. C'est au mois de décembre que les résultats seraient les meilleurs et c'est à cette période que les graines ont été récoltées pour l'expérimentation présentée dans ce rapport.

Les conditions dans lesquelles sont conservées les graines jouent un rôle important sur leur potentiel de germination. Bien que les graines de salicorne et de soude aient été conservées dans un endroit frais et sec avant les expérimentations au laboratoire, elles n'ont peut-être pas bénéficiées des conditions optimales à leur

développement. Cependant, les études réalisées sur ce sujet montrent des résultats variables. Le Goff (1999) a montré que les graines de salicorne conservées au sec et à température ambiante voyaient leur capacité germinative et leur vitesse de germination fortement réduite sur une période de 6 mois, sans pour autant devenir nulle. D'autres études ont mis en évidence qu'une période d'exposition au froid (30 jours à + 5°C étant l'idéal) permettait de lever la dormance des graines et d'augmenter la vitesse et la capacité de germination (Keiffer *et al.*, 1994 ; Le Goff, 1999 ; Gunning, 2017). D'autres études ont mis en évidence qu'un traitement par froid humide entraînait une hausse du taux de germination chez différentes espèces de salicorne. Cette hausse serait d'autant plus importante que les graines se trouveraient dans un milieu salé (Grouzis, 1974 ; Lehraiki Semrade, 2008). La vernalisation des graines, période de froid subie par la graine afin de sortir de son état végétatif, jouerait un rôle important.

Les conditions dans lesquelles ont été placées les graines ont sans doute également influencé leur germination. Il est en effet difficile de reproduire en laboratoire les conditions exactes auxquelles les graines sont soumises dans leur environnement naturel. L'exondation joue un rôle crucial dans la croissance de ces espèces. Suivant les milieux, les plants de salicorne et soude maritime sont régulièrement immergés et peuvent être recouverts pendant des périodes plus ou moins longues, cette alternance de périodes d'émersions et d'immersions serait nécessaire à leur développement. L'hygrométrie du sol a donc un effet non négligeable sur la croissance de la soude et de la salicorne, une forte hygrométrie du sol entraînant un bon développement des pousses (Gunning, 2017) alors qu'une faible hygrométrie conduit à une forte mortalité (Brereton, 1971). Chez certaines espèces de salicornes, des phénomènes de photosensibilité ont également été mis en évidence (Grouzis, 1974). La germination des graines de salicorne et de soude maritime en milieu naturel est donc liée à de nombreux facteurs comme la salinité, l'exondation, la température et la luminosité qui sont difficiles à recréer en laboratoire.

Cependant, le fait que les graines de salicorne et de soude aient germé après avoir été placées dans des conditions optimales met en évidence que celles-ci étaient entrées dans une phase de dormance. Ces graines n'étaient pas dans les conditions optimales pour germer mais n'avaient pas perdu leur potentiel germinatif pour autant. Cette étude a été réalisée sur une courte durée et n'a pas évalué la durée pendant laquelle ces graines gardaient leur potentiel germinatif. Lehraiki Semrade (2008) a cependant montré que les graines de salicorne pouvaient garder leur potentiel germinatif pendant plusieurs années.

5- Conclusion

Les travaux de labours réalisés dans les zones de concessions accordées aux ramasseurs de salicornes de la baie de Somme avaient initialement pour but de permettre une culture plus pure de salicorne tout en limitant l'invasion de la spartine anglaise. Les différents travaux menés en baie de Somme ont permis de montrer que les travaux de labours effectués avaient permis d'atteindre ces objectifs. En rajeunissant le milieu, les labours favorisent l'installation de la salicorne tout en limitant la progression de la spartine au sein des concessions. La soude maritime est également favorisée par les travaux de labours et se développe en association étroite avec la salicorne, ces deux espèces ayant un cycle de vie et des exigences écologiques semblables. La soude et la salicorne étant toutes deux des espèces annuelles, la méthode employée dans la gestion de la soude devra prendre en considération cette similarité. Tout traitement néfaste pour l'une des espèces entraînera un effet négatif sur l'autre. L'augmentation de la présence de soude dans les zones de concessions de végétaux marins entraîne des contraintes au niveau du ramassage et du tri après récolte. Cependant, au lieu de chercher à limiter le développement de la soude maritime au profit de la salicorne, il pourrait être intéressant de se concentrer sur sa valorisation, que ce soit dans les domaines alimentaire, pharmaceutique, cosmétique ou autres.

Des cartographies de la végétation à l'échelle de la baie de Somme sont réalisées régulièrement par le GEMEL, mais celles-ci se concentrent sur les espèces invasives comme la spartine anglaise et le chiendent maritime. L'échelle cartographique utilisée est trop importante pour pouvoir se rendre compte des changements de peuplements végétaux dans les concessions de végétaux marins. Ainsi il pourrait être intéressant de réaliser des cartographies, à une échelle de résolution plus fine, au niveau des zones de concessions accordées aux ramasseurs de salicornes de la baie de Somme.

Les différentes études menées sur le contrôle de la spartine anglaise en baie de Somme ont montré que les travaux de labours réalisés régulièrement pouvaient entraîner une forte régression des densités dans les zones travaillées. Cependant, au bout de quelques années, l'arrêt du travail du sol conduit à la réapparition de la spartine anglaise. La capacité de recolonisation de la spartine peut être évaluée à 3 ou 4 ans. Il serait donc utile de continuer à travailler le sol régulièrement dans les zones où la spartine est présente en vue d'affaiblir les plants-mères et les plus vieilles colonies. Il semblerait judicieux de se concentrer sur l'éradication de la spartine anglaise sur les zones les plus jeunes, en lisière de mollière et des zones de concessions, avec un effort pour éliminer un maximum de fragments végétaux.

Les travaux du sol peuvent néanmoins avoir un effet néfaste sur les populations de salicorne et de soude s'ils ne sont pas réalisés dans les bonnes conditions.

La profondeur du labour semble avoir un effet limité sur les populations de salicorne et de soude à condition que les travaux soient réalisés à la bonne période. Un labour trop précoce peut entraîner le déplacement de la banque de graines alors qu'un labour tardif peut entraîner l'enfouissement des graines qui étaient entrées en phase de germination avec les pluies hivernales et causer une forte mortalité. Les travaux doivent donc impérativement être réalisés au moment de la fructification afin de ne pas endommager la banque de graines de salicornes et de soude. La salicorne et la soude présentent en effet une capacité de recolonisation suffisante si des pieds-mères subsistent. **Ainsi, la période idéale afin de limiter l'influence négative du labour sur la croissance et le développement de la salicorne et de la soude maritime, semble être les mois de novembre/décembre. Il est également préférable que les travaux soient conduits en fin de période de « mortes eaux » afin que le sol se ressuie et que les accès des engins motorisés soient facilités.**

Une éradication totale de la spartine anglaise en baie de Somme semble illusoire. Les opérations de contrôle des espèces invasives nécessitent de relativiser les moyens mis en jeu par rapport à la superficie des zones traitées et la prise en compte des coûts économiques liées à ces opérations. Les travaux de labours réalisés en baie de Somme permettent de freiner et de faire régresser le développement de la spartine anglaise au sein des concessions de végétaux marins, tout en favorisant l'activité des ramasseurs de salicornes. Ces travaux permettent donc de limiter le développement d'une espèce invasive en baie tout en favorisant une activité économique importante en baie de Somme.

Bibliographie

Aberle, B. (1990). The biology, control, and eradication of introduced spartina (cordgrass) worldwide and recommendations for its control in Washington. Report to Washington state department of natural resources, Washington.

Ainouche, ML., Baumel, A., Salmon, A., Yannic, G. (2003). Hybridization, polyploidy and speciation in *Spartina* (Poaceae). *New Phytologist*. Vol. 161 (1). 165-172.

Auly, T., Martin, C., Veiga, J. (2010). Le bassin d'Arcachon, un milieu menacé ? *Physio-géo*, volume 5 | -1, 1-2.

Ball, P.W. & Tutin, T.G. (1959). Notes on annual species of *Salicornia* in Britain. *Watsonia*, 4, 193– 205.

Bethelot, M. (2013). Cartographie de la baie de Somme. Application aux concessions d'exploitation des salicornes. Mémoire de Master 1 Sciences - Technologie – Santé. GEMEL, Université de Picardie Jules Verne : 42 p.

Binet, P. & Boucaud, J. (1968). Dormance, levée de dormance et aptitude à germer en milieu salé dans le genre *Suaeda* forsk. Bulletin de la société française de physiologie végétale 14: 125–132.

B.I.R.C (Bio-Integral Ressource Center) (2000). Smooth cordgrass-spartina. Integrated vegetation management technical bulletins (weeds), 16p.

Bishop, A.C. (2000). A comparison of control techniques for *Spartina anglica* in a south-east australian estuary. Third international weed science congress: 2-6.

Boucaud, J. (1972). Auto-écologie et étude expérimentale des exigences éco-physiologiques de *Suaeda maritima* (L.) Dum., var. *macrocarpa* Moq. et var. *flexilis* Focke. *Oecologia Plantarum* 7: 99–123.

Brereton, A.J. (1971). The structure of the species populations in the initial stages of salt-marsh succession. *Journal of Ecology*, 59, 321– 338.

Caillon, A., Caze, G. (2012). La spartine anglaise (*Spartina anglica* c.e.hubb). Fiche espèce, Conservatoire Botanique National Sud-Atlantique. 6p.

Chevalier, A. (1922). Les Salicornes et leur emploi dans l'alimentation. Etude historique, botanique, économique. *Revue de Botanique Appliquée et D'Agriculture Coloniale* 16: 697–785. <http://dx.doi.org/10.3406/jatba.1922.1484>

Chevalier, A. (1947). Deux *Salicornia* nouveaux du Sénégal (avec une pl.). In: *Revue internationale de botanique appliquée et d'agriculture tropicale*, 27^e année, bulletin n°297-298, Juillet-août 1947. pp. 291-294. DOI : <https://doi.org/10.3406/jatba.1947.2063>

Clements, D. R., Benoit, L. (1996). Tillage Effects on Weed Seed Bank Composition. *Weed Science* 5: 314-322

Creaa (2010). La salicorne des marais charentais.

Corre, F., Joyeux E., Meunier F. (2008). Premiers éléments de connaissance et de gestion de la Spartine anglaise *Spartina anglica* en baie de l'Aiguillon. *Aestuaria, cultures et développement durable*. N° 13 : Les plantes envahissantes du littoral atlantique : le cas de la Spartine anglaise. p. 115–123.

Daehler, C.C., & Strong, D.R. (1994). Variable reproductive output clones of *Spartina alterniflora* (poaceae) invading San Francisco bay, California: the influence of herbivory, pollination, and establishment site. *American journal of botany* 81: 307-313.

Daehler, C.C., Strong, D.R. (1995). Impact of high herbivores densities on introduced smooth cordgrass, *Spartina alterniflora*, invading San Francisco bay, California. *Estuaries* 18: 409-417.

Daehler, C.C., Strong, D.R. (1996), Status, predication and prevention of introduced cordgrass *Spartina spp.* Invasions in pacific estuaries, USA. *Biological conservation* 78: 51-58.

Daehler, C.C., Strong, D.R. (1997). Reduced herbivore resistance in introduced smooth cordgrass (*S. alterniflora*) after a century of herbivore-free growth. *Oecologia* 110:99-108.

Davey, P. (1993). *Spartina* : eliminating the root of the problem. *Managing land for the wildlife*, (1) 3: 7

Davey, P., Venters, M., Bacon, J. (1996). Spoiling spartina, a muddy problem solved? *Enact*, 4: 8-9.

Desprez, M. (2002). Compte-Rendu de la visite des labours expérimentaux réalisés dans les habitats à salicornes de la Baie de Somme. Saint Valery sur Somme, GEMEL: 5.

Douay, C. (2000). La spartine en baie de Somme : dynamique, problèmes environnementaux et essais de gestion. Mémoire de Maîtrise de Géographie. Université de Picardie Jules Verne, Amiens (France). 146 p.

Duponchelle, G. (2012). Potentiel de production de deux espèces d'halophytes : *Salicornia fragilis* et *Aster tripolium* en baie de Somme. Mémoire de Master 2 Ecosystèmes, Agrosystèmes et Développement Durable. GEMEL, Université de Picardie Jules Verne. 49 p.

Dupont, J.P. (1981). Relations entre Bios et Phénomènes sédimentaires intertidaux : le modèle de la baie de Somme. Thèse de Doctorat de l'Université de Haute-Normandie. 310 p.

Ellison, A.M. (1987). Effects of seed dimorphism on the density-dependent dynamics of experimental populations of *Atriplex triangularis*, *American Journal of Botany* 74:1280–1288.

Ellison, A.M. (1989). Morphological determinants self-thinning in plant monocultures and a proposal concerning the role of self-thinning in plant evolution. *Oikos* 54 287–293.

Fagot, C., Sournia, A., Triplet, P., Urban, M, Lepilliez, F. (1999). Expérimentation d'éradication de la spartine en baie de Somme, première synthèse des résultats. SMACOPI, 20 p. + annexes.

Fisher, J.P., Mavros, B., Waller, D., Heller M., Suedel, B., Gillespie, B., Slocumb, J. (2003). Ecological risk assessment of the proposed use of the herbicide Imazapyr to control invasive cordgrass (*Spartina spp.*) In estuarine habitat of Washington state. Washington state department of agriculture, entrix, inc., project no. 3000901, 94p.

Garcia, A., Desroy, N., Le Mao, P., Miossec, L. (2014). Protocole de suivi stationnel des macro-invertébrés benthiques de substrats meubles subtidiaux et intertidaux dans le cadre de la DCE. Façades Manche et Atlantique. *Rapport AQUAREF 2014* – 13 p. + Annexes.

Gehu, J.M., Caron, B. et Bon, M. (1975). Données sur la végétation des prés salés de la Baie de Somme. Colloque phytosociologique IV La végétation des vases salées Lille: 197-225.

Gélinaud, G., Le Gall, C. (1999). Réserve naturelle des marais de Séné: plan de gestion 2000-2004. Bretagne Vivante, Commune de Séné, Amicale de chasse de Séné. 142 p.

Granger, G. (2003). Les relations entre spartines et salicornes en baie de Somme. Faculté de Pharmacie. Amiens (France), Université de Picardie Jules Verne: 99 pp.

Grevstad, F.S., Strong, D.R., Garcia-Rossi, D., Switzer, R.W. and Wecker, M.S. (2003). Biological control of *Spartina alterniflora* in Willapa bay, Washington using the planthopper *Prokelisia marginata*: agent specificity and early results. *Biological control* 27:32-42.

Grouzis, M. (1973). Exigences écologiques comparées d'une salicorne vivace et d'une salicorne annuelle: germination et croissance des stades jeunes. *Oecologia Plantarum*, 8, 367– 375.

Grouzis, M. (1974). Ecophysiologie comparée de trois espèces annuelles du genre *Salicornia*: germination, croissances et accumulation de sels. Université des sciences et techniques du Languedoc: 134 p.

Grouzis, M., Berger, A., Heim, G. (1976). Polymorphisme et germination des graines chez trois espèces annuelles du genre *Salicornia*. *Oecologia Plantarum*, 11, 41– 52.

Grouzis, M., Heim, G., Berger, A. (1977). Croissance et accumulation de sels chez deux salicornes annuelles du littoral méditerranéen. *Oecologia Plantarum*, 12, 307– 322.

Guenegou, M.C., Levasseur, J.E, Bonnot-Courtois, C., Lafond L.R., Le Rhun, J. (1991). The geomorphological and botanical changes in Kernic bay (Brittany, France) : influence on coastal management. *Journal of Coastal Research* 7(2) : 331-339.

Gunning, D. (2016). Cultivating *Salicornia europaea* (Marsh Samphire). Daithi O' Murchu Marine Research Station & University College Cork: Dublin, Ireland. pp. 1– 50.

Hammond, M.E.R. (2001). The experimental control of *Spartina anglica* and *Spartina x Townsendii* in estuarine salt marsh. Phd thesis, Ulster.

Hannaford, J., Pinn, E.H., Diaz A. (2006). The impact of Sika deer grazing on the vegetation and infauna of Arne saltmarsh. *Marine Pollution Bulletin*, 53 : 56-62

Hedge, P., Kriwoken L.K., Patten, K. (2003). A review of spartina management in Washington state, US. *Journal of Aquatic Plant Management*, 41: 82-90.

Hubbard, J.C.E. (1970). Effects of cutting and seed production in *Spartina anglica*. *The Journal of Ecology* 58 : 329-334.

Huiskes, A.H.L., Stienstra, A.W., Koutstaal, B.P., Markusse, M.M. and Van Soelen, J. (1985). Germination ecology of *Salicornia dolichostachya* and *Salicornia brachystachya*. *Acta Botanica Neerlandica* 34: 369–380.

Jacquet, J. (1949). Recherches écologiques sur le littoral de la Manche. Les prés salés et la Spartine de Townsend. Les estuaires. La tangue. Paris, 344 p.

Jefferies, R.L., Davy, A.J., Rudmik, T. (1981). Population biology of the salt marsh annual *Salicornia europaea* agg. *Journal of Ecology*, 69 , 17–31.

Jezequel, Y. (2010). La salicorne: une plante sauvage convoitée. Du jardin marin à l'exploitation intensive? Cueillette, usage, enjeux et conflits. Conservatoire du littoral. Muséum national d'histoire naturelle.

Keiffer, C.H., McCarthy, B.C., Ungar, I.A. (1994). Effect of salinity and waterlogging on growth and survival of *Salicornia europaea* L., an inland halophyte. *Ohio Journal of Science*, 94, 70– 73.

Keiffer, C.H. & Ungar, I.A. (1997). The effect of extended exposure to hypersaline conditions on the germination of five inland halophyte species. *American Journal of Botany*, 84, 104– 111.

Khan, M.A., Weber, D.J. (1986). Factors influencing seed germination in *Salicornia pacifica* var *utahensis*. *American Journal of Botany*. 73:1163–1167. doi:10.2307/2443795

Lahondère, C. (2004). Les salicornes s. l. (*Salicornia* L, *Sarcocornia* A.J. Scott et *Arthrocnemum* Moq.) sur les côtes françaises. *Bulletin de la Société Botanique du Centre-Ouest*. 124.

Langlois, J. (1966). Etude comparée de l'aptitude à germer des graines de *Salicornia stricta* Dumort., *S. disarticulata* Moss and *S. radicans* Smith. *Revue Générale de Botanique*, 73, 25– 39.

Langlois, E. (2000). Mise en place et structuration des communautés végétales pionnières de marais salés. (Baie du Mont Saint Michel), Université de Rennes 1: 291.

Lefeuvre, J-C., Rauss, I. (2014). *Spartina anglica* in the Mont Saint Michel' bay: a green peril revisited. In: 4th international conference on invasive spartina - proceedings, juillet 2014, Rennes (France).

Le Goff, F. (1999). Analyse des paramètres biotiques et abiotiques pour une exploitation maîtrisée des salicornes. Thèse de Doctorat de l'Université de Rennes.

Lehraiki, Semrade, S. (2008). Approches des facteurs de la croissance et du développement de *Salicornia ramossissima* Woods en conditions naturelles et contrôlées. Faculté des sciences. Amiens, Thèse de Doctorat de l'Université Picardie Jules Vernes: 159.

Le Nindre, Y-M., Levasseur, J-E., De Montaudouin, X., Lafon, T. (2004). Etude pour le maintien de l'équilibre bio-sédimentaire des plages de nord-est dans le Bassin d'Arcachon. Rapport BRGM/rp-53282-fr.

Levasseur, J.E. & Bonnot-Courtois, C. (2008). Modalités d'installation et de développement de la Spartine anglaise sur les estrans vaseux. *Aestuaria*, cultures et développement durable. N° 13 : Les plantes envahissantes du littoral atlantique : le cas de la Spartine anglaise. p. 53-78.

Levy, V. (coord.), Watterlot, W., Buchet, J., Toussaint, B. & Hauguel J.-C. (2015). Plantes exotiques envahissantes du nord-ouest de la France : 30 fiches de reconnaissance et d'aide à la gestion. Centre régional de phytosociologie agréé conservatoire botanique national de Bailleul, 140 p. Bailleul.

Plantes exotiques envahissantes du nord-ouest de la France : La Spartine anglaise
<http://gt-ibma.eu/wp-content/uploads/2016/05/FicheSpartinatownsendii.pdf>

Lowe, S., Browne, M., Boudjelas, S., De Poorter, M. (2000). 100 of the world's worst invasive alien species a selection from the global invasive species database. Published by the invasive species specialist group (ISSG) a specialist group of the species survival commission (SSC) of the world conservation union (IUCN), 12pp. First published as special lift-out in *aliens* 12, december 2000. Updated and reprinted version: november 2004.

Lush, M., & Haynes, T., & Lush, C. (2014). *Spartina anglica* and its management in estuarine Natura 2000 sites: an update of its status and monitoring future change in England.

Manceau, R. (2017). Val'hor - Code de conduite professionnel relatif aux plantes exotiques envahissantes en France métropolitaine : *Spartina alterniflora*, *Spartina anglica* et *Spartina x townsendii*. En ligne : www.codeplantesenvahissantes.fr.

Mcneely, J.A. (Ed), (2001). New directions for the 21st century, UICN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK VI + 124pp.

Meirland, A., Bertho, G., Langin, S. (2008). Comparaison de deux taxons de milieux pionniers, la Spartine anglaise (*Spartina anglica*) et les Salicornes (*Salicornia* sp.) en baie de Somme. *Aestuaria*, cultures et développement durable. N° 13 : Les plantes envahissantes du littoral atlantique : le cas de la Spartine anglaise. p. 97-111.

Meirland, A., Carpentier, L., Bertho, G. (2009). Synthèse des données sur la baie de Somme : les sédiments, la végétation, les invertébrés et les aménagements. Rapport GEMEL (Groupe d'Etude des Milieux Estuariens et Littoraux) Juin 2009. 276 p

Meirland, A., Talleux, J. D., Mary, E. (2010). Labour des concessions d'exploitation de salicorne, bilan des travaux 2010. GEMEL, Saint-Valery-sur-Somme (France) : 10p

Norman, M., Patten, K. (1997). Cost-efficacy of integrated spartina control practices in Willapa bay, Washington. In: Second international spartina conference proceedings (ed. K. Patten), pp. 89-92. Washington state university, Olympia, Washington.

Orlovsky, N., Japakova, U., Zhang, H., Volis, S. (2016). Effect of salinity on seed germination, growth and ion content in dimorphic seeds of *Salicornia europaea* L. (Chenopodiaceae). *Plant diversity*, 38: 183-189.

Pages, L., Scourzic, T. (2016). Guide de bonnes pratiques pour la maîtrise de *Spartina anglica* sur le Bassin d'Arcachon. Contrat SIBA – SEANEO / I-SEA.

Payne, K. (1972). A survey of the spartina feeding insects in Poole Harbour, Dorset. *Entomologist's monthly magazine* 108, 66-79.

Pfeiffer, W.J., Wiegert, R.G. (1981). Grazers on spartina and their predators. In: The ecology of a salt marsh. (ed. L. R. Pomeroy and R. G. Weigert), pp. 87-112. *Ecological studies* 38. Springer - Verlag, New York.

Ranwell, D.S. (1961). Spartina salt marshes in southern England: The effects of sheep grazing at the upper limits of spartina marsh in bridgwater bay. *The journal of ecology* 49 : 325-340.

Ranwell, D.S., Downing, B. M. (1960). The use of Dalapon and substituted urea herbicides for control of seed-bearing spartina (cord grass) in inter-tidal zones of estuarine marsh. *Weeds* 8, 78-88.

Riehl, T.E., Ungar, I.A. (1982). Growth and ion accumulation in *Salicornia europaea* under saline field conditions, *Oecologia* 54 193–199.

Roberts, P.D., Pullin, A.S. (2007). The effectness of management interventions for the control of 592-618. Doi: 10.1002/aqc

Rocroy, M. (2016). Evaluation des incidences N 2000 dans le cadre des AOT de culture de végétaux marins en baie de Somme, effets potentiels sur les habitats et

les espèces de la Directive Habitat Faune Flore et Directive oiseaux. Rapport du GEMEL – Université de Picardie Jules Verne. 33 p + annexes.

Rocroy, M. (2017). Evaluation des zones de labours au sein de la concession de végétaux marins en baie de Somme en 2017. Rapport du GEMEL n°17-003 : 4 p.
Service environnement de la maire d'Andernos-les-Bains (2004). Expérimentation d'arrachage et de suivi des spartines ; bilan des années: 2000, 2002, 2003 et 2004, 14p.

Strong, D.R. (1990). Insect herbivores that feed on *Spartina alterniflora*. In: spartina workshop record (ed. T. F. Mumford, P. Peyton, J. R. Sayce and S. Harbell), pp. 20. University of Washington and Washington Sea Grant Program, Seattle, Washington.

Shumway, S. W. & Bertness, M. D. (1992). Salt stress limitation of seedling recruitment in a salt marsh plant community. *Oecologia* 92: 490–497.

Taylor, M.C., Burrows, E. M. (1968). Chemical control of fertile *Spartina townsendii* (s.l.) On the cheshire shore of the Dee estuary. *Weed research* 8, 170-184.

Taylor, M.C., Burrows, E. M. (1968). Chemical control of fertile *Spartina townsendii* (s.l.) On the cheshire shore of the Dee estuary. Response of spartina to treatment with Paraquat. *Weed research* 8, 185-195.

Tessier, M., Gloaguen, J.C., Lefeuvre, J.C. (2000). Influence des facteurs biotiques et abiotiques sur la morphologie et la reproduction de *Suaeda maritima* sur un marais salé. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series III - Sciences de la Vie 323, n° 10 (octobre 2000): 905-11.

Tessier, M., Gloaguen, J.C. & Lefeuvre, J.C. (2000). Factors affecting the population dynamics of *Suaeda maritima* at initial stages of development. *Plant Ecology*,147, 193–203.

Triplet, P. (2003). La spartine anglaise dans le monde et en Baie de Somme, 33p. Syndicat Mixte pour l'aménagement de la Côte Picarde, Abbeville.

Triplet, P., Ducrotoy J.P., Bastide J., Dolique F., Lefebvre B., Desfossez P., Sueur F. (2005). Expérimentation de contrôle de la spartine en baie de Somme - Synthèse. Rapport du GEMEL n°797.

Triplet, P., Et Meirland, A. (2008). Une expérience de contrôle de spartine anglaise: *Spartina anglica* en Baie de Somme. *Æstuarina*, 2008, 13: 125-134

Triplet P., Ducrotoy, J.-P., Bastide, J., Meirland, A. (2008). La Spartine anglaise dans le monde : une synthèse des connaissances. *Æstuarina*, 13 : 135-163.

Triplet, P. (2012). Manuel d'étude et de gestion des oiseaux et de leurs habitats en zones côtières. *Æstuarina*, cultures et développement durable, pp.775, paroles des marais atlantiques.

Ungar, I. A. (1962). Influence of salinity on seed germination in succulent halophytes. *Ecology* 43: 763–764.

Ungar, IA. (1973). Salinity tolerance of inland halophytic vegetation of North America. *Bulletin de la Société Botanique* 120:217–222.

Ungar, I.A. (1977). Salinity, temperature and growth regulator effects on seed germination in *Salicornia europaea* L. *Aquatic Botany*, 3, 329– 335.

Wu, M.Y., Hacker, S., Ayres D., Strong D.R. (1999). Potential of *Prokelisia spp.* As biological control agents of English cordgrass, *Spartina anglica*. *Biological control* 16: 267-273

Zambettakis, C. (1987). Evolution des conséquences d'une perturbation sur la végétation et le fonctionnement d'un écosystème: impact de la fermeture partielle du havre de Geffosses (Manche). Institut de Biochimie et Biologie Appliquées, Université de Caen: 154.

ANNEXES

ANNEXE 1

Contrat de prestations de labour sur les zones de la concession de l'Association des Ramasseurs de Salicornes de la Baie de Somme.

Réf. Association n° 002

ENTRE

L'Association des Ramasseurs de Salicornes de la Baie de Somme, association loi 1901, SIRET n°45016788700014, ci-après dénommée "l'Association", dont le siège est situé en Mairie du Crotoy sise au 12, rue du Général Leclerc 80550 Le Crotoy, et représenté par sa Présidente Renée Michon,

d'une part,

ET

La SAS FRETE, SIRET n°83414811600017, ci-après dénommée "le Prestataire", dont le siège social est situé Cayeux sur Mer, et représenté par son gérant Sylvain Freté,

d'autre part

Ci-après individuellement et/ou collectivement dénommés par la ou les "Parties".

Préambule

L'Association des Ramasseurs de Salicornes de la Baie de Somme a besoin que des travaux de labours soient effectués en période hivernale sur ses concessions afin de lutter contre le développement de *Spartina anglica*, plante invasive qui limite le développement des espèces végétales natives que l'Association exploite.

Suite à l'appel à devis en date du 09/09/2019, le prestataire a été sélectionné pour la réalisation des labours pour l'hiver 2019/2020.

Les Parties ont donc entendu arrêter les conditions d'exécution des prestations au sein du présent contrat.

PAR CONSEQUENT, IL A ETE ARRETE CE QUI SUIV,

Article 1 - Objet

1.1 Le présent contrat, ci-après « le Contrat », a pour objet de définir les conditions dans lesquelles l'Association confie au Prestataire qui accepte, la réalisation de prestations de labours entre le 1^{er} décembre 2019 et le 28 février 2020 sur ses concessions pour l'hiver 2019-2020, ci-après dénommée par la ou les « Prestations ».

1.2 Nonobstant la durée de validité du Contrat mentionnée à l'article 5 ci-dessous, il est entendu que les Prestations effectuées seront réalisées au titre de l'année 2020.

Article 2 - Suivi du contrat

La réalisation des Prestations nécessite une collaboration active et régulière entre les Parties.

A ce titre, une démarche commune doit être mise en place et l'échange permanent d'informations doit permettre d'éviter la génération d'incidents préjudiciables aux intérêts des Parties

2.1 Obligations de l'Association

L'Association désigne Madame Renée Michon et Monsieur Cyril Ledoux comme interlocuteurs uniques pour le suivi des Prestations auprès du Prestataire. L'un ou l'autre sera présent sur le lieu de la prestation durant son exécution.

L'Association fournit une carte géoréférencée des zones de concession au Prestataire en Lambert 93 dès la présente signature du contrat.

L'Association fournit une carte géoréférencée des zones à labourer au Prestataire en Lambert 93 dès la présente signature du contrat.

2.2 Obligations du Prestataire

Le Prestataire désignera un interlocuteur responsable du bon déroulement et de l'achèvement des Prestations. Les coordonnées de cet interlocuteur seront remises à l'Association dès la présente signature du contrat. Il informera immédiatement les interlocuteurs de l'Association, ci-dessus nommés, des difficultés rencontrées dès qu'il en aura connaissance.

Article 3 - Description des Prestations

Le Prestataire réalisera les Prestations conformément aux instructions suivantes :

Le Prestataire est tenu de se conformer aux obligations légales et réglementaires en matière de circulation des engins à moteur sur le DPM (Domaine Public Maritime).

Les engins à moteur du Prestataire ne peuvent stationner sur le DPM. Il convient au Prestataire de disposer d'un lieu de stationnement qui soit conforme aux lois et règlements en vigueur à la date d'exécution des Prestations.

Le Prestataire est tenu d'effectuer les travaux uniquement au sein des concessions de l'Association. Le Prestataire s'engage à ne pas activer ses engins de fauche et de labour en dehors des zones à labourer définies selon la carte remise par l'Association.

Le Prestataire s'engage à disposer des moyens effectifs de positionnement en Lambert 93 nécessaires à sa géolocalisation (GPS) lors de son évolution sur le DPM.

Le Prestataire s'engage à remettre sous 10 jours après la fin des travaux les tracés GPS de l'évolution de ses engins en Lambert 93 au Prestataire.

Les travaux de labour peuvent être précédés d'une fauche mais aucune fauche ne peut être effectuée sans être suivie d'un labour avant que la marée ne recouvre la zone fauchée.

Les travaux seront effectués le plus tôt possible durant la période hivernale. Ils pourront être stoppés à tout moment par les Services de l'Etat si ces derniers estiment que la pousse des végétaux autres que la spartine ont commencés.

Article 4 - Législation sociale et environnementale

4.1 Le Prestataire s'engage à satisfaire à toutes les obligations légales et réglementaires en matière de droit du travail et de la Sécurité Sociale qui sont à sa charge, et garantit l'Association contre toute action éventuelle de ce chef. En particulier, il prendra toutes dispositions pour faire assurer sous sa propre responsabilité la surveillance médicale de son personnel.

Le Prestataire assure seul la surveillance et l'encadrement de ses collaborateurs éventuels qui restent placés sous son seul contrôle et sa seule direction.

4.2 Le Prestataire s'engage à satisfaire à toutes les obligations légales et réglementaires en matière environnementale qui sont à sa charge, notamment en matière de protection de la faune, de la flore et des habitats. Le Prestataire s'engage ainsi à restreindre son utilisation d'un avertisseur sonore aux seuls cas relevant de la sécurité, à ne pas détériorer les filandres, à ne pas détériorer les obionaires et à ne pas laisser de déchets sur le DPM.

Le Prestataire déclare sur l'honneur par la signature du Contrat avoir effectué toutes les déclarations nécessaires auprès de l'administration fiscale et dans l'hypothèse où il emploierait des salariés, que ceux-ci sont employés de façon régulière.

Article 5 - Durée

Le Contrat, conclu à compter du 1er décembre 2019, viendra à expiration le 8 mars 2020.

Article 6 - Montant

Le montant correspondant aux Prestations s'élève à la somme ferme et forfaitaire de 23101,20 euros taxes (19251 € HT).

Ce montant sera facturé à l'Association de la manière suivante :

Une avance de trente pour cent (30%) du montant, le 1er janvier 2020 à condition que le présent contrat soit signé des Parties. Cette avance viendra en déduction du solde mentionné ci-dessous.

Un acompte de trente pour cent (30%) du montant, à la remise des tracés GPS de l'évolution des engins au Prestataire.

Le solde déduction faite de l'avance mentionnée ci-dessus, à la validation par l'Association des travaux de labour.

Article 7 - Conditions de Paiement et de Facturation

Les factures devront être rédigées à l'attention de :

ASSOCIATION DES RAMASSEURS DE SALICORNES DE LA BAIE DE SOMME
- Mairie -
12 rue du Général Leclerc
80550 Le Crotoy

Les factures devront être adressées en deux (2) exemplaires par courrier postal à :

Madame Renée MICHON
Association des ramasseurs de salicornes de la Baie de Somme
Mairie, 12 rue du Général Leclerc
80550 LE CROTOY

Elles devront notamment comporter le numéro du présent Contrat (Réf. Association n° 002).

Les règlements seront effectués par l'Association par virement bancaire à soixante (60) jours à compter de la date d'émission des factures.

Les versements auront lieu par virement au compte du Prestataire, après fourniture par celui-ci d'un relevé d'identité bancaire, faute de quoi son paiement serait suspendu.

Si le délai de règlement par l'Association d'une facture du Prestataire devenue exigible est supérieur à soixante (60) jours, il sera fait application à compter de ce délai d'un taux d'intérêt de retard égal au taux d'intérêt appliqué par la Banque Centrale Européenne à ses opérations principales de refinancement les plus récentes, en vigueur au premier jour du semestre de l'année civile au cours duquel les intérêts moratoires ont commencé à courir, majoré de huit (8) points de pourcentage.

Article 8 - Régime Fiscal

Le montant des Prestations objet du Contrat, sera majoré de la T.V.A au taux en vigueur à la date du fait générateur.

Article 9 - Reversement

En cas de non respect des obligations ou des engagements du Prestataire et notamment en cas de non exécution partielle ou totale de l'opération ou d'utilisation des fonds non conforme à l'objet, l'Association peut mettre fin au présent contrat et exiger le reversement total ou partiel des sommes versées.

Le reversement total de la somme perçue sera requis notamment en cas de :

- refus des contrôles réglementaires
- fausse déclaration ou fraude manifeste

Article 10 - Responsabilité

Le Prestataire assumera à l'égard de son personnel toutes les obligations civiles, sociales et fiscales de l'employeur. Il assurera notamment la couverture de ses agents en matière d'accident de travail, de trajet et de maladie professionnelle.

Si le Prestataire se voit confier pour l'exécution des Prestations des fichiers, des données, des logiciels, des programmes, des manuels ou tout autre document, ci-après les « Documents », le Prestataire en assurera la garde et effectuera toutes les démarches, ou copies rendues nécessaires au maintien et à la sauvegarde des informations contenues dans ces Documents afin de se prémunir contre d'éventuelles pertes d'informations, destructions ou accident de stockage.

Le Prestataire supportera les risques encourus par ses biens et son matériel dans le cadre de l'exécution des Prestations.

Article 11 - Assurance

Le Prestataire déclare être titulaire des polices d'assurances adéquates, souscrites auprès d'une compagnie d'assurances notoirement solvable, couvrant les conséquences financières de sa responsabilité pour tous dommages directs ou indirects qu'il pourrait causer à l'Association ou à un tiers dans l'exécution des présentes.

Le Prestataire s'engage à justifier à première demande de l'Association de l'attestation de versement des primes pendant toute la durée des présentes.

Article 12 - Privilège de Jurisdiction

En cas de litige sur l'interprétation ou l'exécution de la présente convention, les parties s'efforceront de résoudre leur différent à l'amiable.

En cas de désaccord persistant, le litige sera soumis aux juridictions compétentes.

Fait au Crotoy, le 23/09/2019

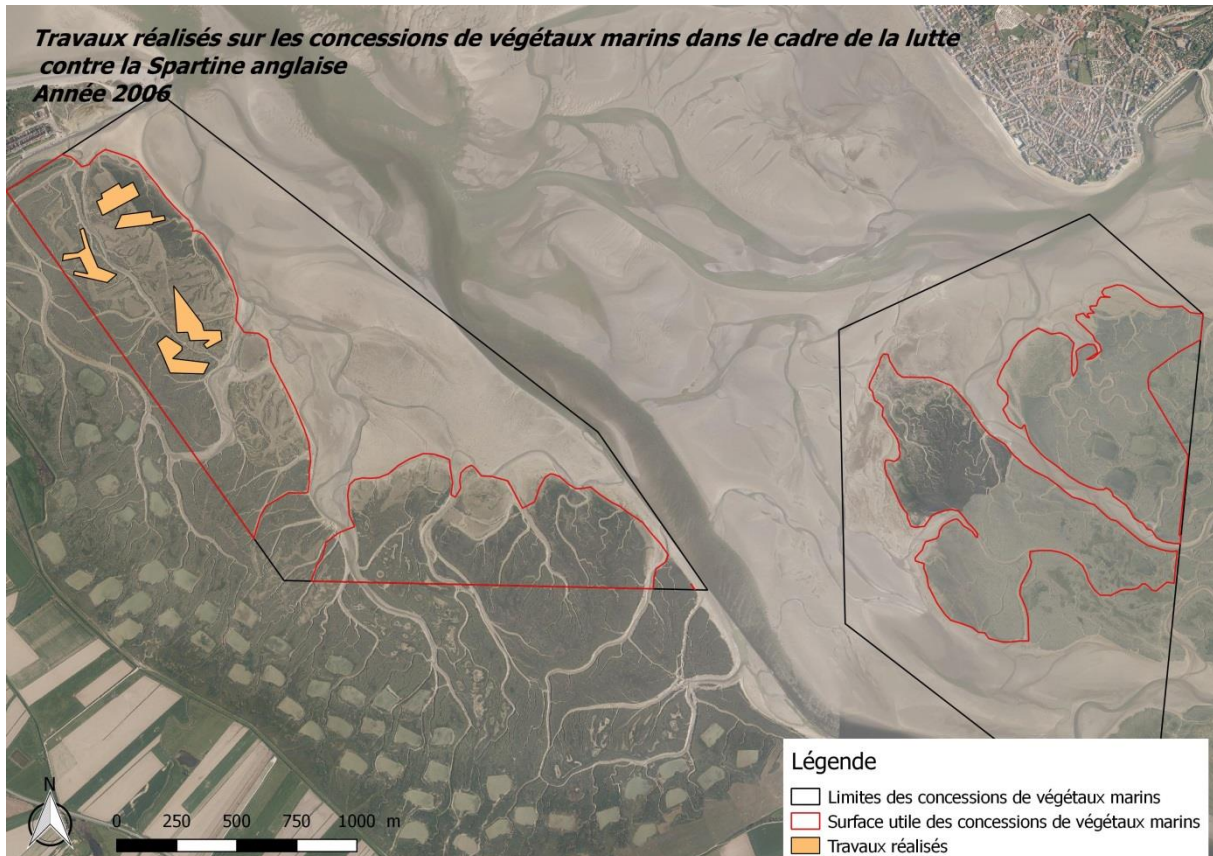
En deux (2) exemplaires originaux dont un (1) est remis à chaque Partie.

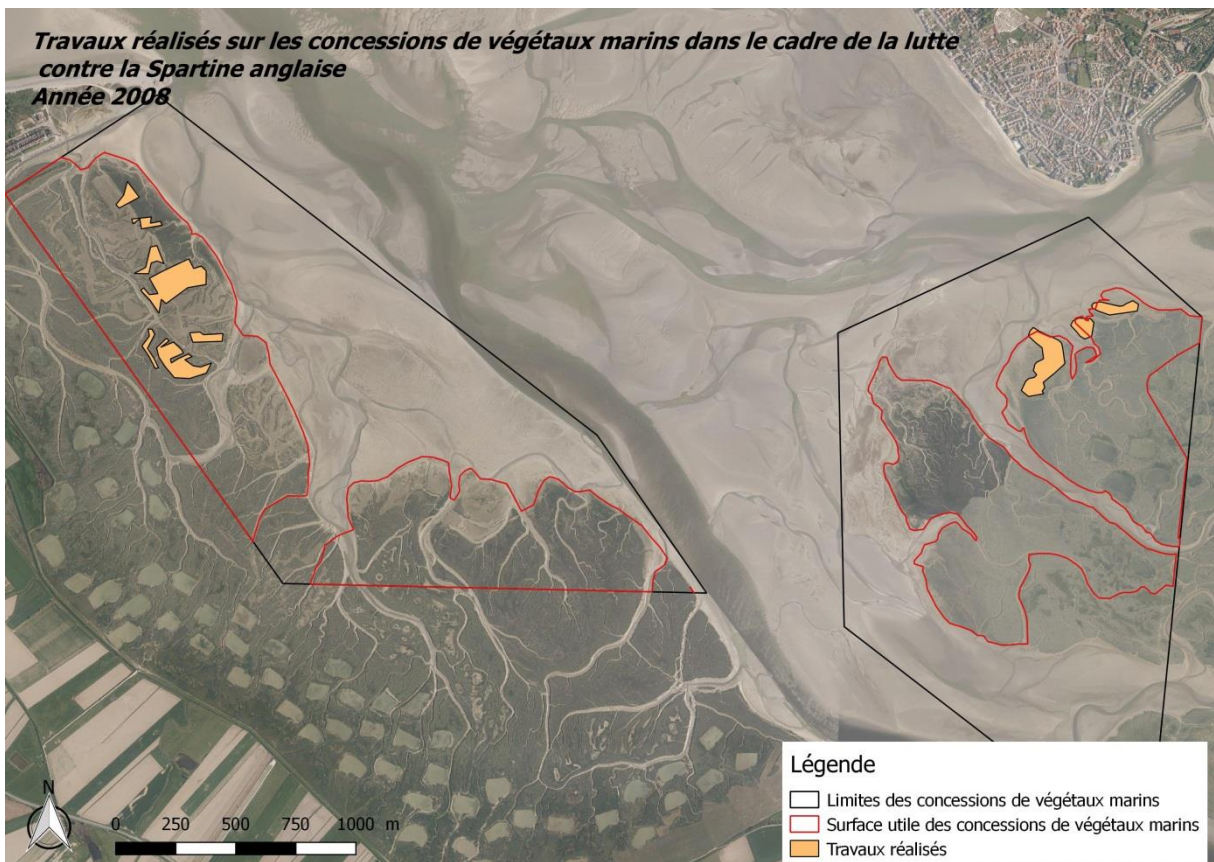
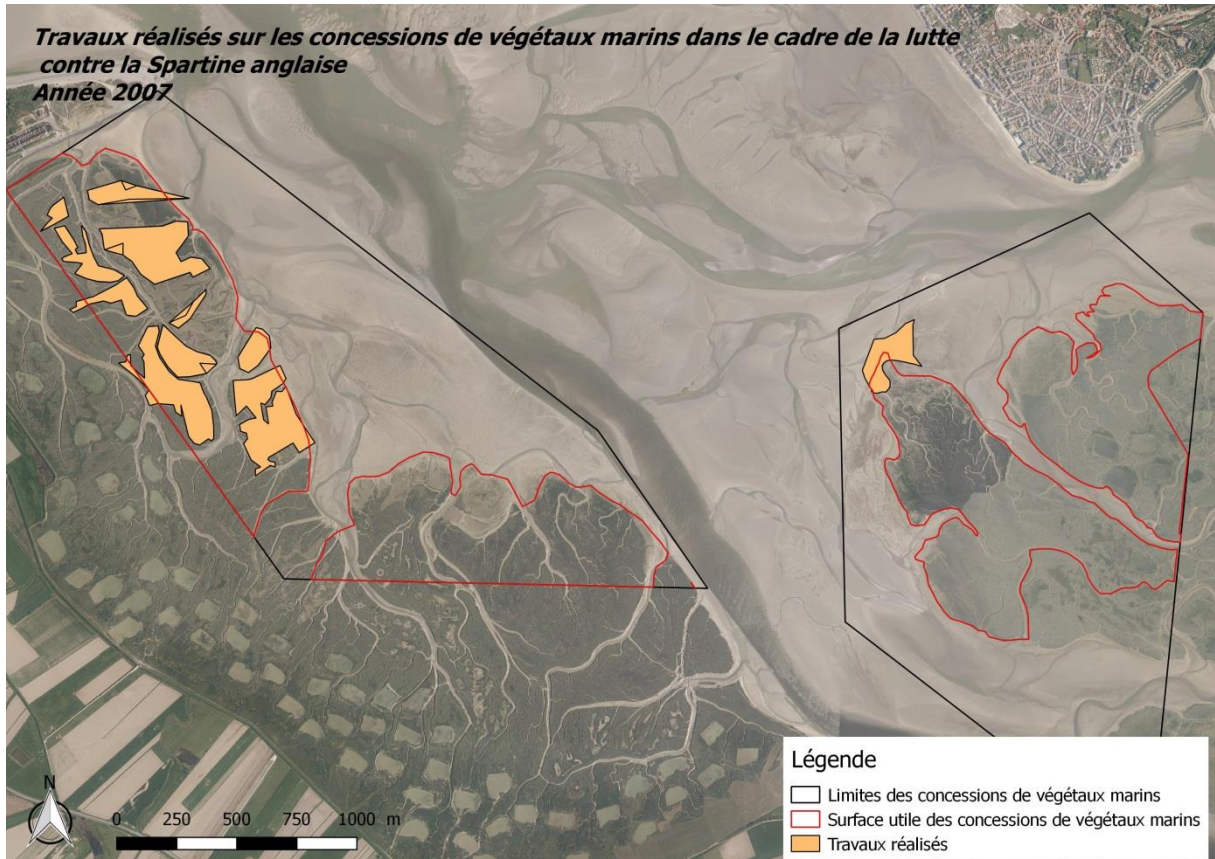
Pour le Prestataire

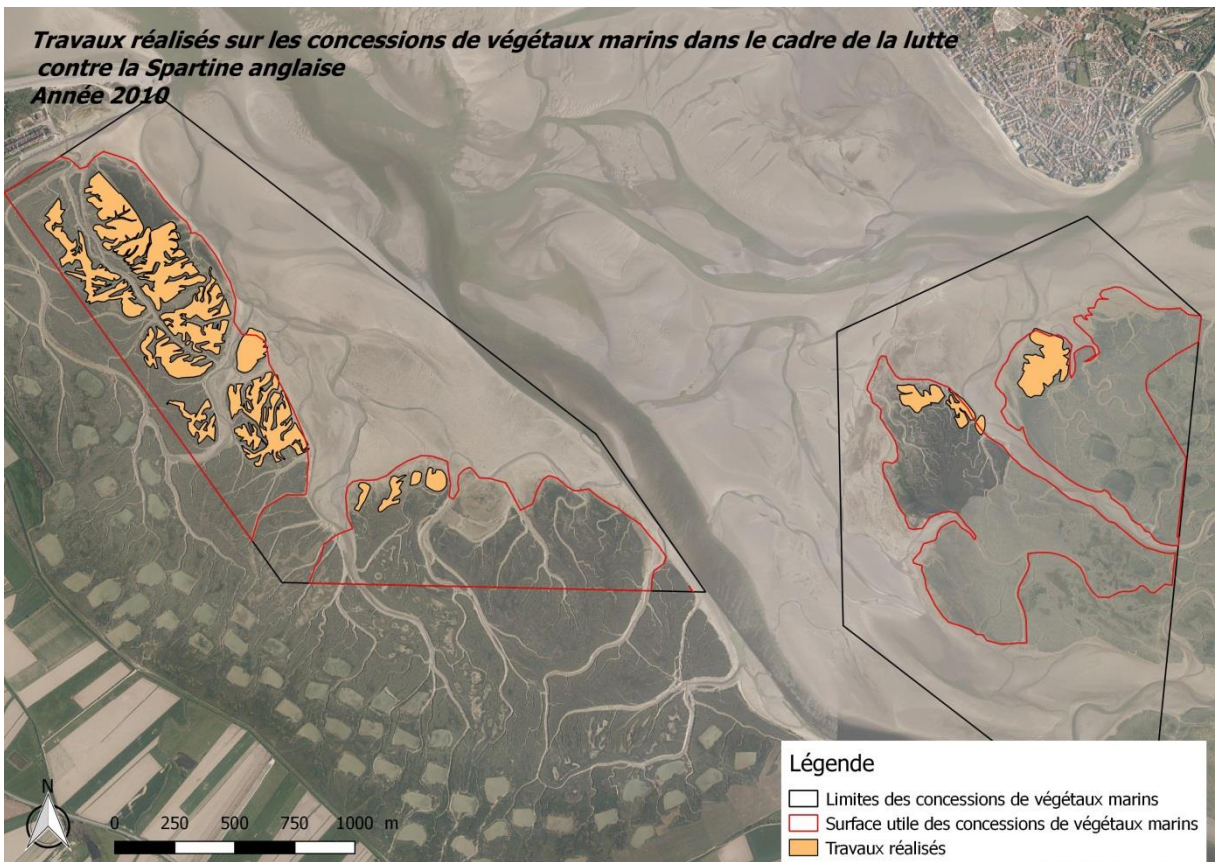
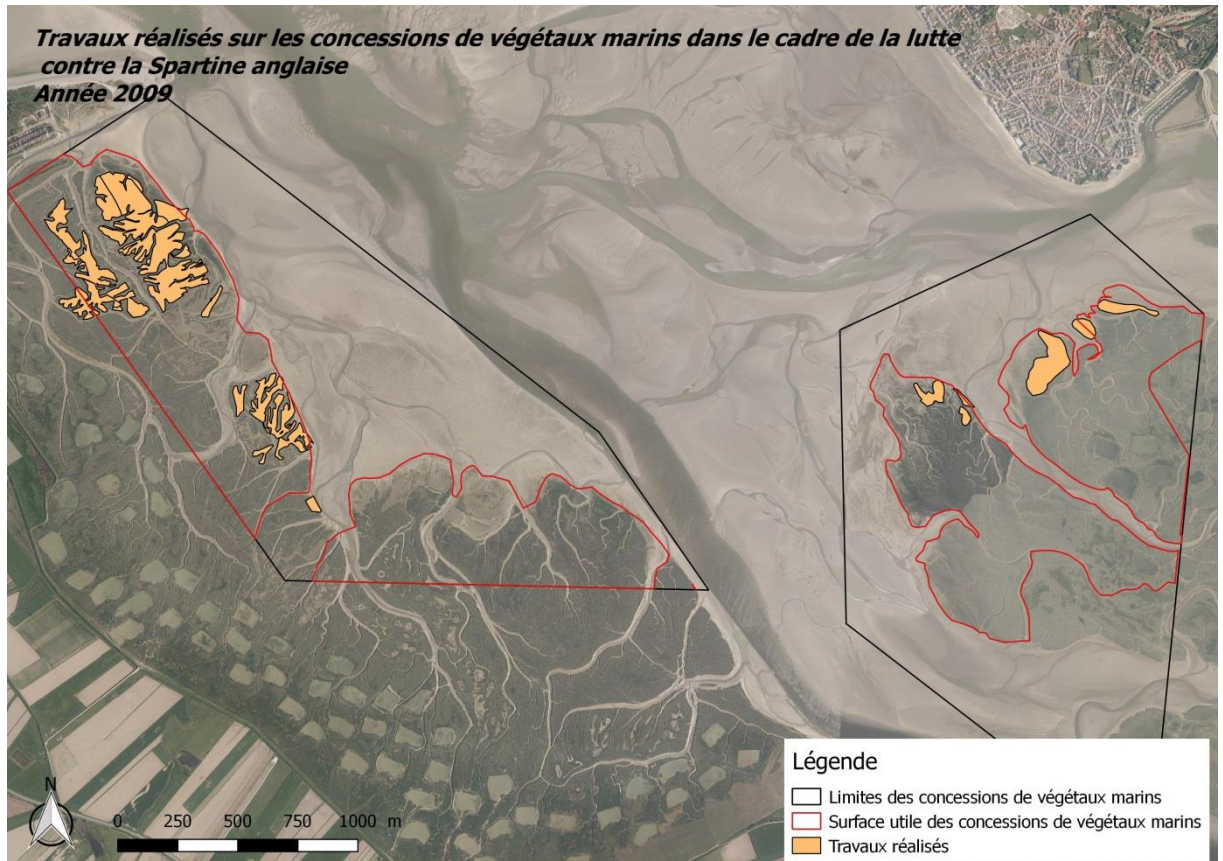
Pour l'Association

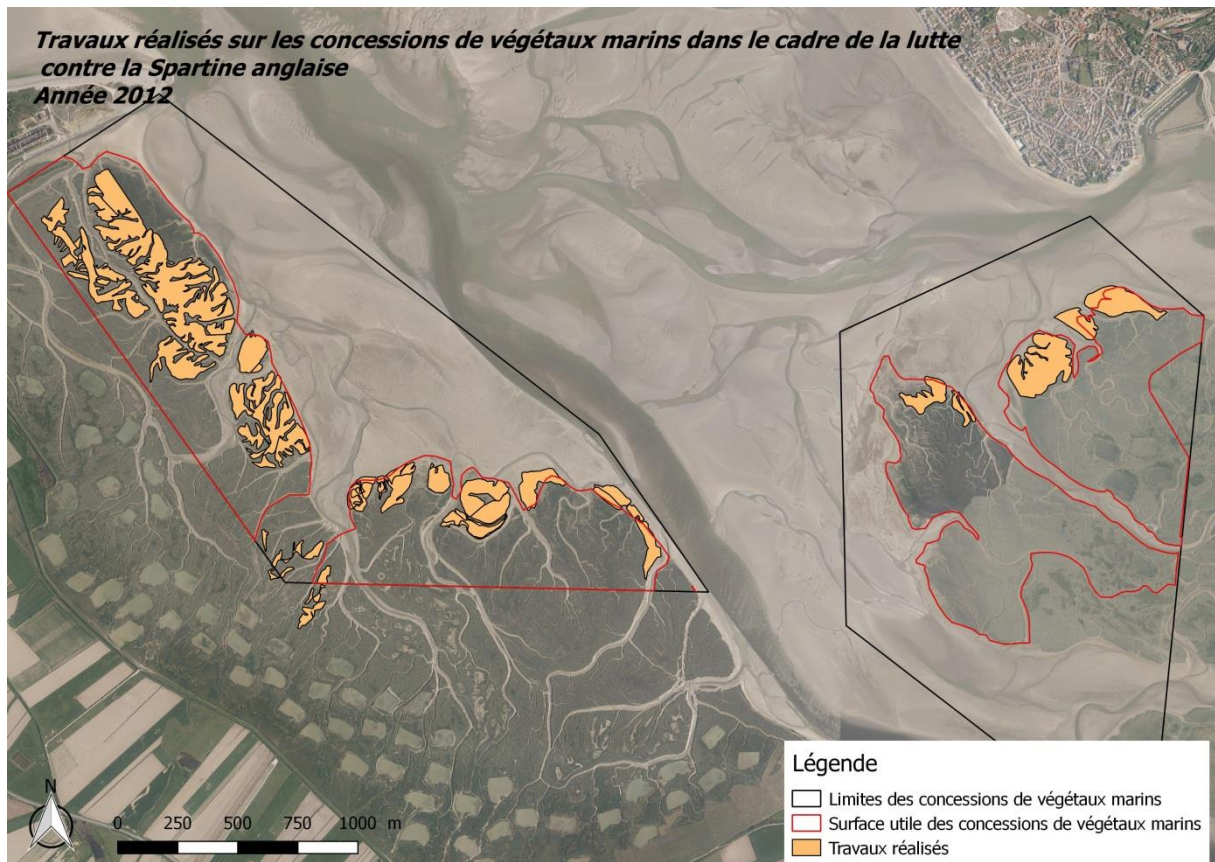
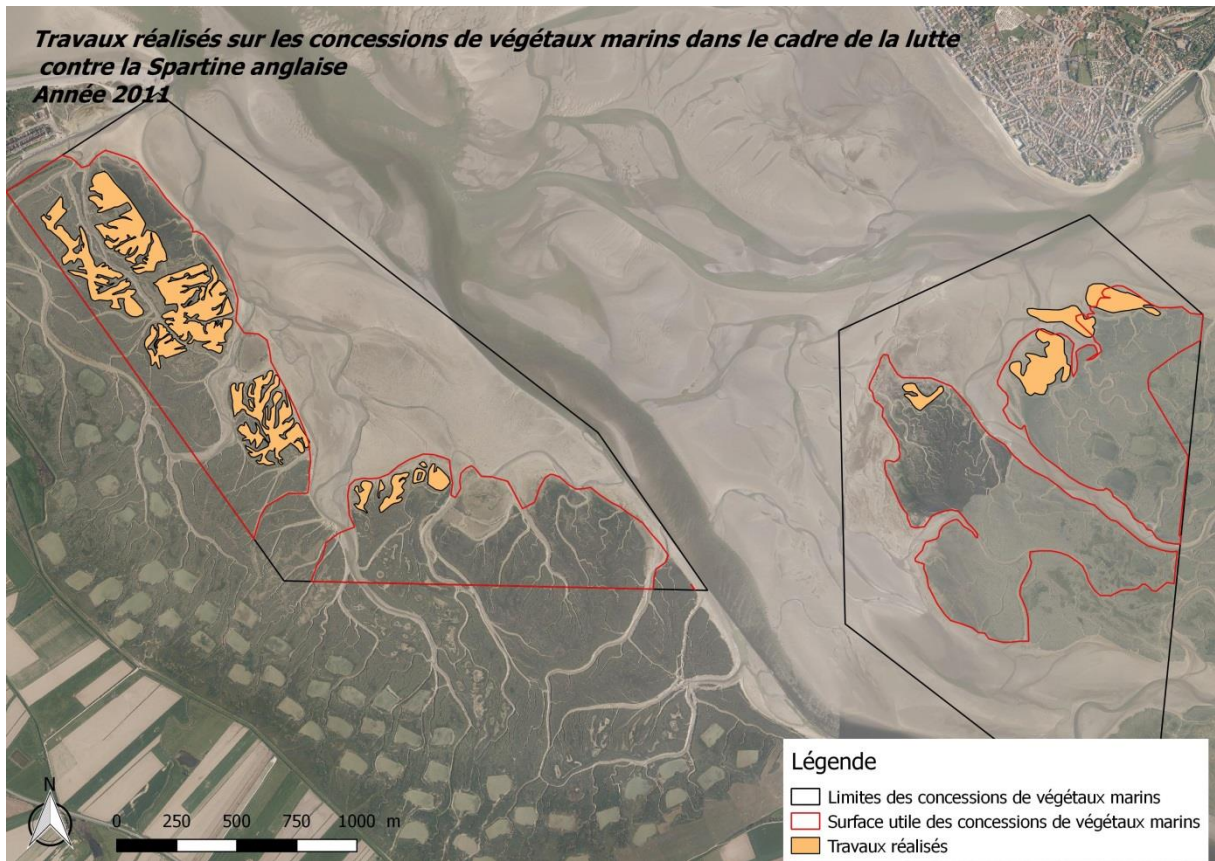
ANNEXE 2

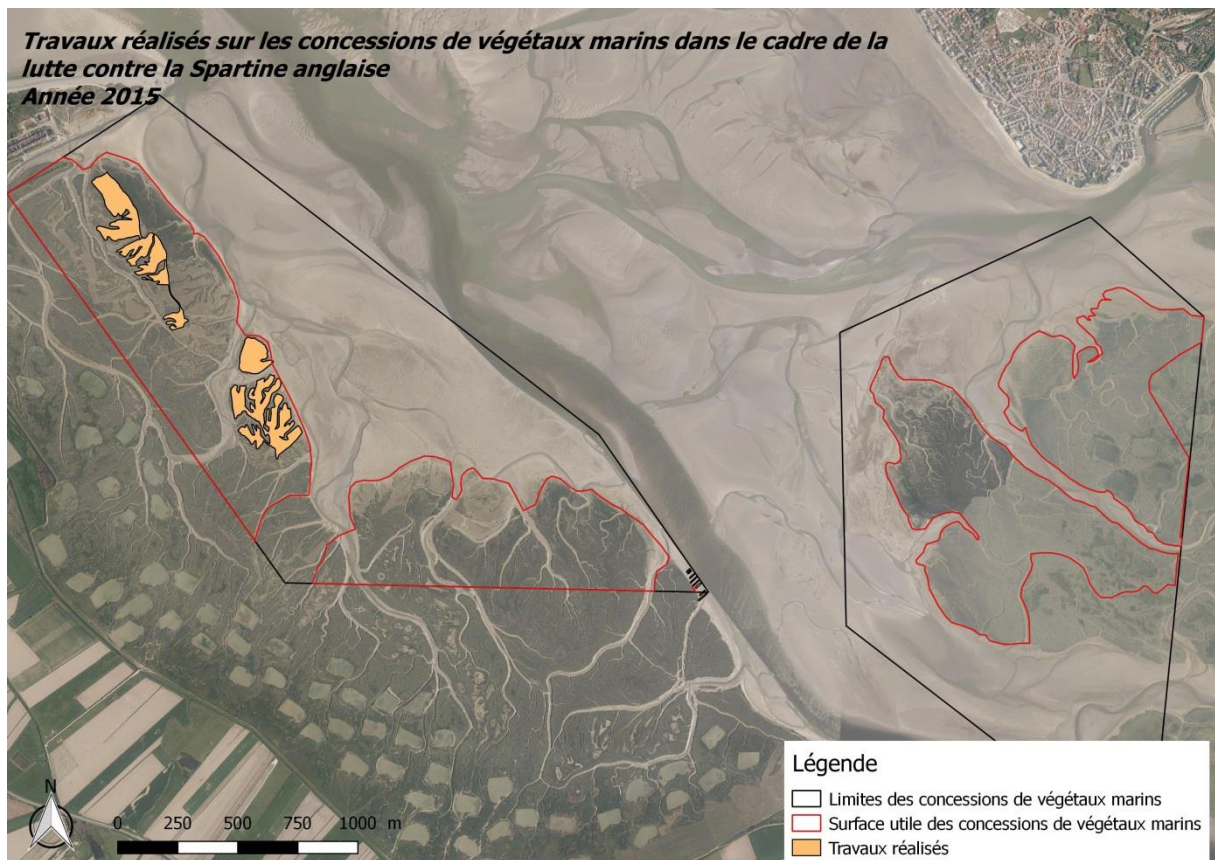
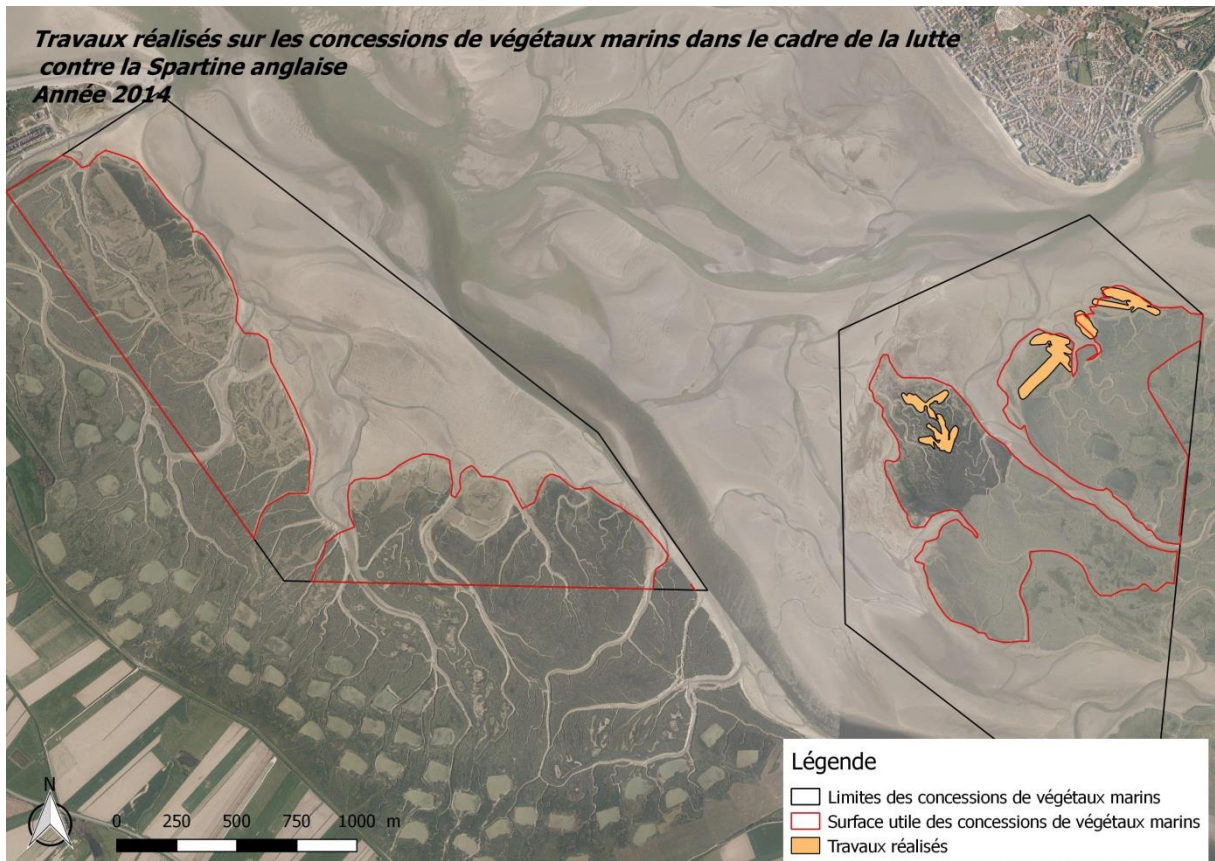
Historique des travaux de labours réalisés au sein des concessions de végétaux marins dans le cadre de la lutte contre la spartine anglaise de 2006 à 2019



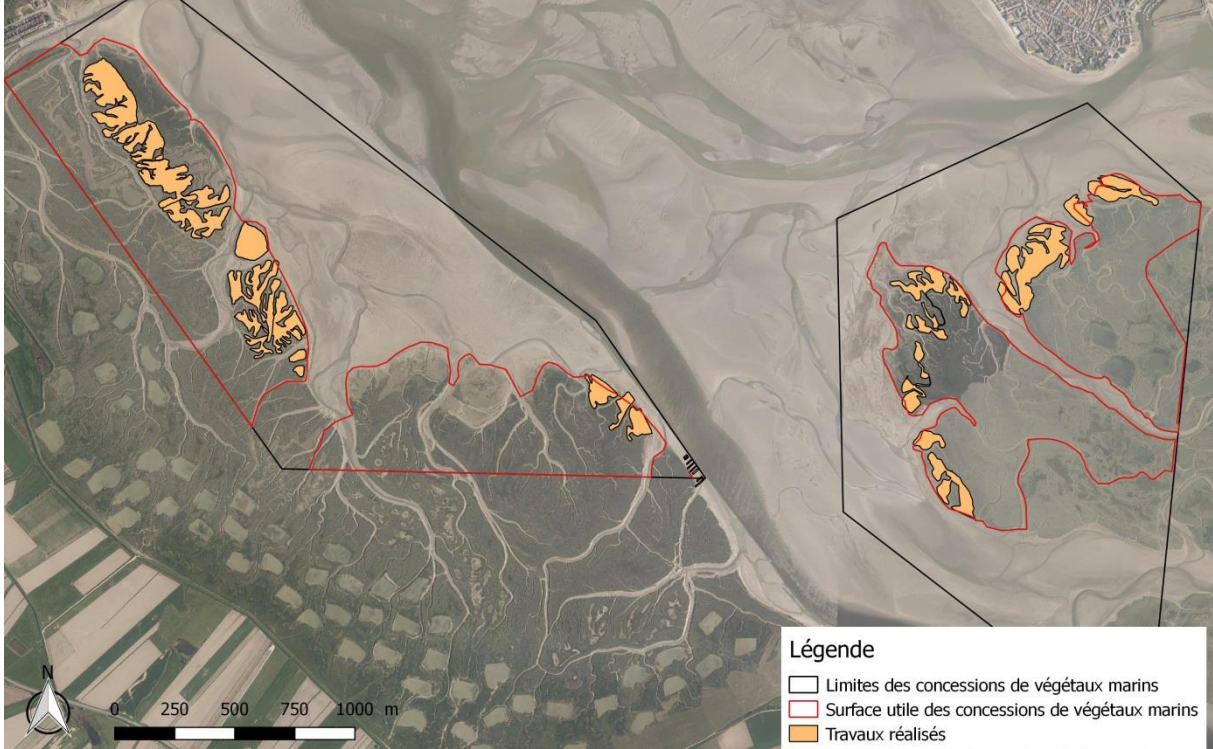




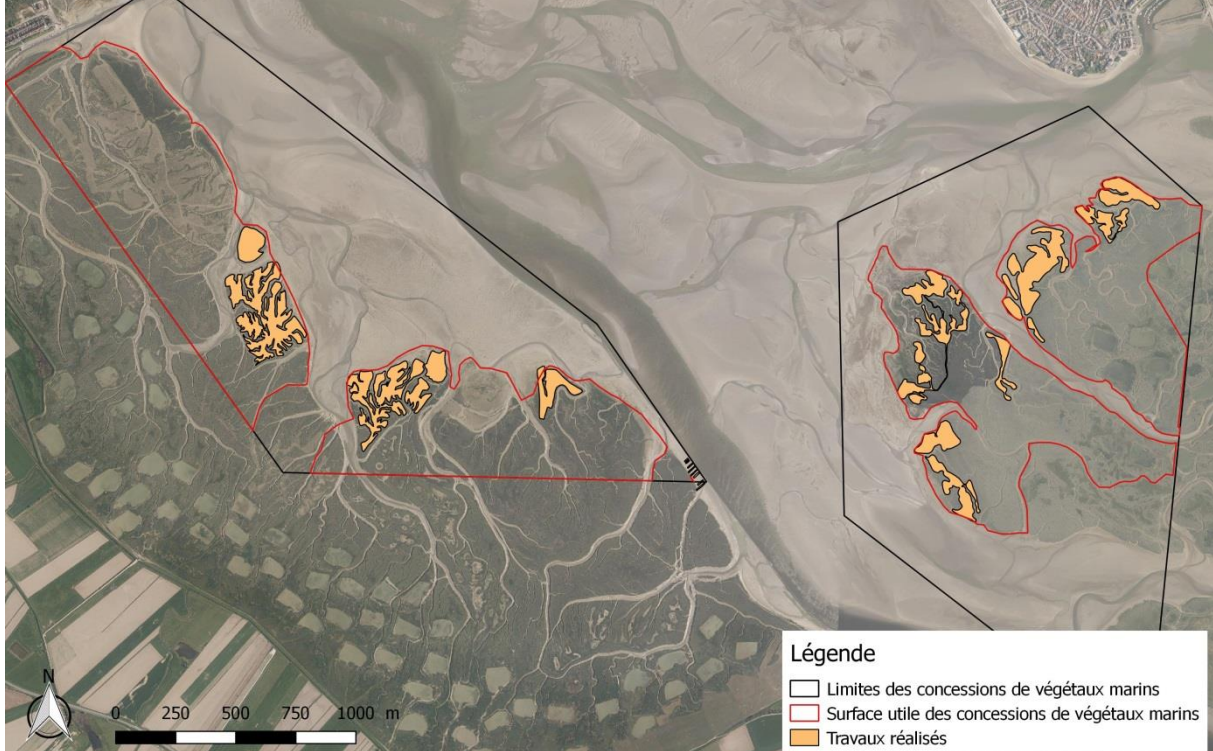




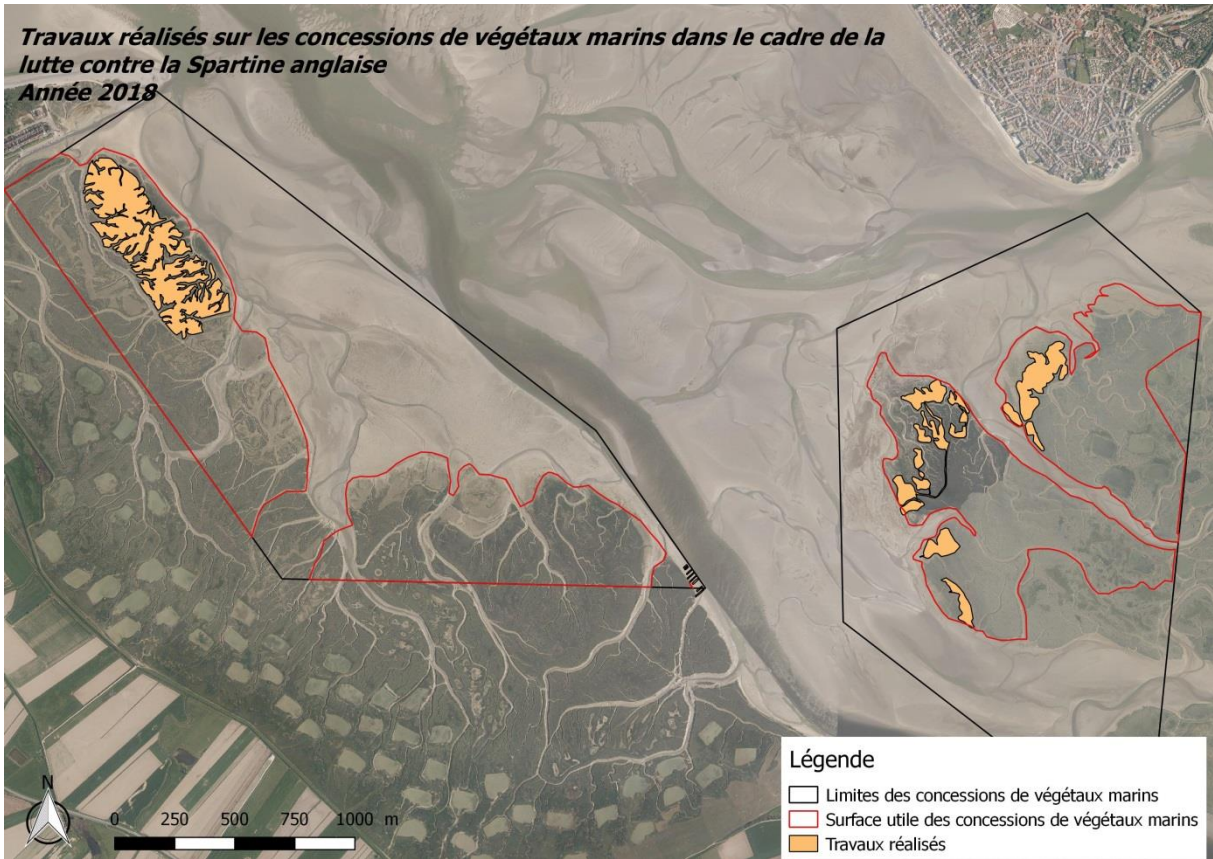
Travaux réalisés sur les concessions de végétaux marins dans le cadre de la lutte contre la *Spartine anglaise*
Année 2016



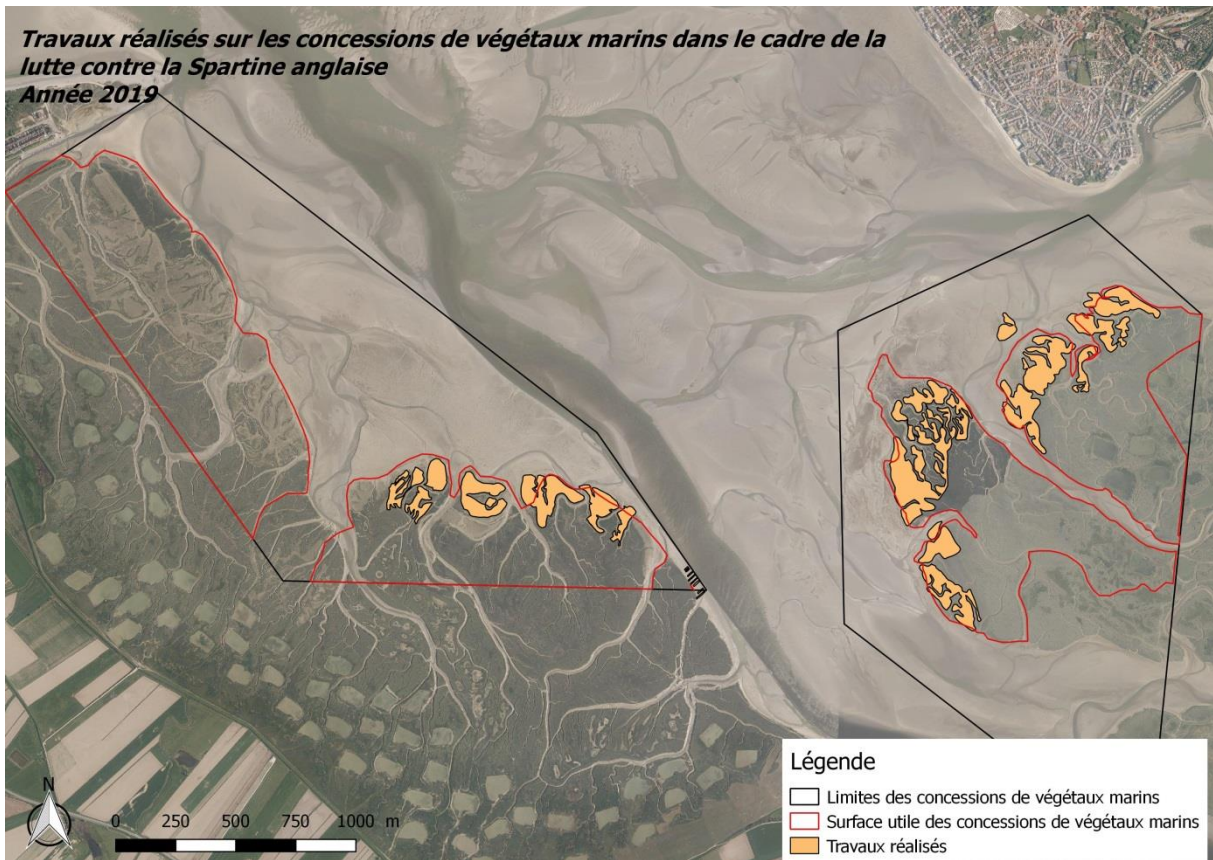
Travaux réalisés sur les concessions de végétaux marins dans le cadre de la lutte contre la *Spartine anglaise*
Année 2017



Travaux réalisés sur les concessions de végétaux marins dans le cadre de la lutte contre la *Spartine anglaise*
Année 2018















Travaux réalisés sur les concessions de végétaux marins dans le cadre de la lutte contre la *Spartine anglaise*
Année 2019



ANNEXE 3

Photographies des relevés floristiques réalisés sur les parcelles expérimentales du Crotoy et du Hourdel













SITE DU HOURDEL : LABOURS DE DECEMBRE

Date relevé	Labour 30cm	Témoin	Labour 15cm	Sol nu
Début avril				
Mi-avril				
Fin mai				

Mi-juin















SITE DU HOURDEL : LABOURS DE JANVIER

Date relevé	Labour 30cm	Témoin	Labour 15cm	Sol nu
Début avril				
Mi-avril				
Fin mai				

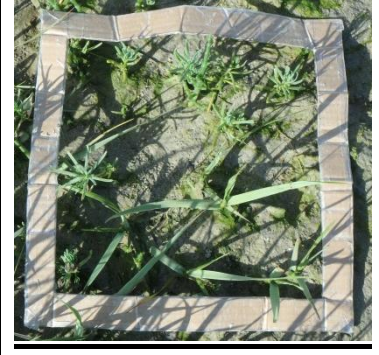
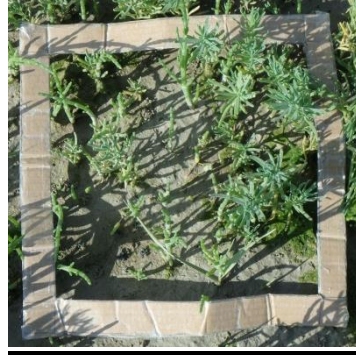
Mi-juin









SITE DU HOURDEL : LABOURS DE FEVRIER

Date relevé	Labour 30cm	Témoin	Labour 15cm	Sol nu
Début avril				
Mi-avril				
Fin mai				

Mi-juin



SITE DU CROTOY : LABOURS DE DECEMBRE

Date relevé	Labour 30cm	Témoin	Labour 15cm	Sol nu
Fin-mars				
Mi-avril				













Fin mai



Mi-juin




SITE DU CROTOY : LABOURS DE JANVIER

Date relevé	Labour 30cm	Témoin	Labour 15cm	Sol nu
Fin-mars				
Mi-avril				
Fin mai				

Mi-juin



SITE DU CROTOY : LABOURS DE FEVRIER

Date relevé	Labour 30cm	Témoin	Labour 15cm	Sol nu
Fin-mars				
Mi-avril				

Fin mai






Mi-juin






ANNEXE 4

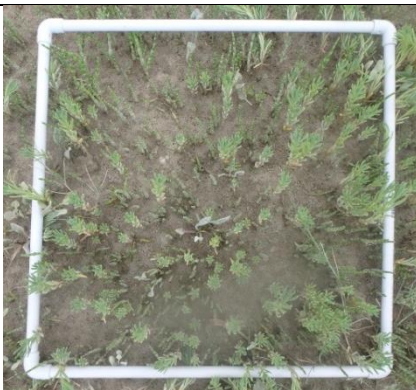

Fiches terrain des relevés floristiques réalisés dans les concessions de végétaux marins


Zone	Point	Coordonnées (Lambert 1 carto)	Années labour	Quadrat	Espèces	% présence	Taille moy (cm)	% sol nu
Le Crotoy / St Valery	1 a	X : 548794 Y : 1278641	2010		Salicorne Soude Spartine Obione	50 30 15 5	12 22 30 10	50
Le Crotoy / St Valery	1 b	X : 548794 Y : 1278641	2010		Salicorne Soude Puccinellie	45 50 5	15 20 35	60



Le Crotoy / St Valery	1 c	X : 548794 Y : 1278641	2010		Soude Salicorne Aster	68 30 2	27 25 15	40


Zone	Point	Coordonnées (Lambert 1 carto)	Années labour	Quadrat	Espèces	% présence	Taille moy (cm)	% sol nu
Le Crotoy / St Valery	2 a	X : 549079 Y : 1278695	2016 2017 2018 2019		Salicorne Soude Aster	70 25 5	15 22 10	30
Le Crotoy / St Valery	2 b	X : 549079 Y : 1278695	2016 2017 2018 2019		Salicorne Soude Puccinellie Aster	45 45 2 8	17 22 15 25	40


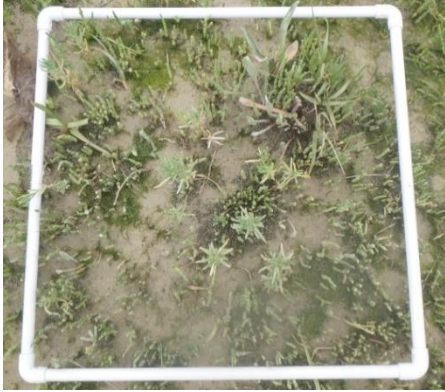
Le Crotoy / St Valery	2 c	X : 549079 Y : 1278695	2016 2017 2018 2019		Soude Salicorne Aster Puccinellie	35 60 3 2	13 13 10 30	60


Zone	Point	Coordonnées (Lambert 1 carto)	Années labour	Quadrat	Espèces	% présence	Taille moy (cm)	% sol nu
Le Crotoy / St Valery	3 a	X : 549324 Y : 1278922	2019		Salicorne Soude Obione Aster Puccinellie	40 40 1 17 2	nm nm nm nm nm	40
Le Crotoy / St Valery	3 b	X : 549324 Y : 1278922	2019		Salicorne Soude Puccinellie Obione	45 45 5 5	nm nm nm nm	60

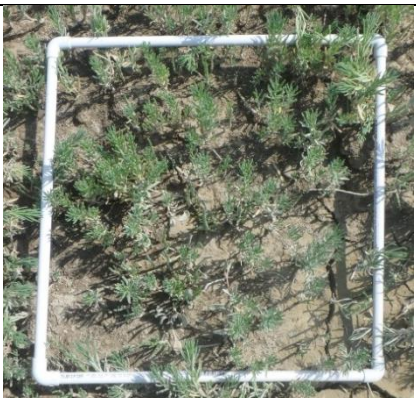

Le Crotoy / St Valery	3 c	X : 549324 Y : 1278922	2019		Salicorne Soude Aster Puccinellie	45 45 8 2	10 20 nm nm	30

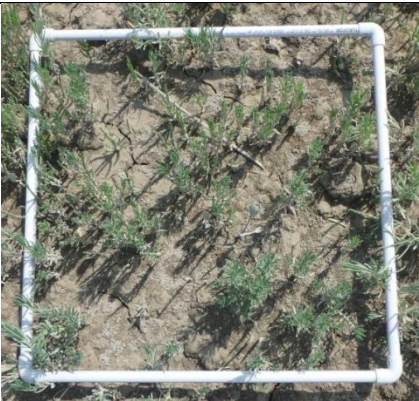
Zone	Point	Coordonnées (Lambert 1 carto)	Années labour	Quadrat	Espèces	% présence	Taille moy (cm)	% sol nu
Le Crotoy / St Valery	4 a	X : 549422 Y : 1278971	2017 2019		Salicorne Soude Aster Puccinellie	50 40 8 2	7 15 12 25	40
Le Crotoy / St Valery	4 b	X : 549422 Y : 1278971	2017 2019		Salicorne Soude Aster Spartine	70 8 20 2	8 15 18	60



Le Crotoy / St Valery	4 c	X : 549422 Y : 1278971	2017 2019		Salicorne Soude Spartine Aster	55 20 20 5	7 18 30 25	20
--------------------------	-----	---------------------------	--------------	--	---	---------------------	---------------------	----


Zone	Point	Coordonnées (Lambert 1 carto)	Années labour	Quadrat	Espèces	% présence	Taille moy (cm)	% sol nu
Le Crotoy / St Valery	5 a	X : 549359 Y : 1279034	2008 2009 2011 2012 2014 2016 2017 2019		Salicorne Spartine Aster Soude	70 25 3 2	10 25 10 7	40
Le Crotoy / St Valery	5 b	X : 549359 Y : 1279034	2008 2009 2011 2012 2014 2016 2017 2019		Salicorne Soude Aster Spartine	50 30 10 10	10 17 18 20	50



Le Crotoy / St Valery	5 c	X : 549359 Y : 1279034	2008 2009 2011 2012 2014 2016 2017 2019		Salicorne Aster Soude Spartine	40 2 28 30	12 18 18 20	40


Zone	Point	Coordonnées (Lambert 1 carto)	Années labour	Quadrat	Espèces	% présence	Taille moy (cm)	% sol nu
Le Hourdel / Cap Hornu	1 a	X : 547285 Y : 1278218	2019		Soude Salicorne Aster Obione	80 13 5 2	25 15 10 25	40
Le Hourdel / Cap Hornu	1 b	X : 547285 Y : 1278218	2019		Soude Salicorne Aster Obione	60 30 5 5	25 15 15 20	60



Le Hourdel / Cap Hornu	1 c	X : 547285 Y : 1278218	2019		Soude Salicorne Aster	70 25 5	25 17 15	60


Zone	Point	Coordonnées (Lambert 1 carto)	Années labour	Quadrat	Espèces	% présence	Taille moy (cm)	% sol nu
Le Hourdel / Cap Hornu	2 a	X : 547335 Y : 1278280	2016 2019		Soude Salicorne Aster	80 10 10	17 10 20	60
Le Hourdel / Cap Hornu	2 b	X : 547335 Y : 1278280	2016 2019		Soude Salicorne Aster	80 15 5	20 15 15	60



Le Hourdel / Cap Hornu	2 c	X : 547335 Y : 1278280	2016 2019		Soude Salicorne Aster	85 5 10	20 10 15	50


Zone	Point	Coordonnées (Lambert 1 carto)	Années labour	Quadrat	Espèces	% présence	Taille moy (cm)	% sol nu
Le Hourdel / Cap Hornu	3 a	X : 546630 Y : 1278397	2011 2012 2017 2019		Salicorne Soude Aster	70 25 5	10 13 12	60
Le Hourdel / Cap Hornu	3 b	X : 546630 Y : 1278397	2011 2012 2017 2019		Soude Salicorne Aster	60 35 5	17 13 10	60



Le Hourdel / Cap Hornu	3 c	X : 546630 Y : 1278397	2011 2012 2017 2019		Soude Salicorne	60 40	16 15	70


Zone	Point	Coordonnées (Lambert 1 carto)	Années labour	Quadrat	Espèces	% présence	Taille moy (cm)	% sol nu
Le Hourdel / Cap Hornu	4 a	X : 546444 Y : 1278281	2017		Soude Salicorne Spartine	35 35 30	15 10 15	50
Le Hourdel / Cap Hornu	4 b	X : 546444 Y : 1278281	2017		Soude Salicorne Aster	45 40 15	20 15 25	30



Le Hourdel / Cap Hornu	4 c	X : 546444 Y : 1278281	2017		Soude Salicorne Aster	70 28 2	23 12 7	30

Zone	Point	Coordonnées (Lambert 1 carto)	Années labour	Quadrat	Espèces	% présence	Taille moy (cm)	% sol nu
Le Hourdel / Cap Hornu	5 a	X : 546012 Y : 1278542	2007 2009 2010 2011 2012 2015 2016 2017		Soude Salicorne Spartine Aster	10 10 30 50	17 12 30 40	40
Le Hourdel / Cap Hornu	5 b	X : 546012 Y : 1278542	2007 2009 2010 2011 2012 2015 2016 2017		Salicorne Soude Spartine Aster	5 30 5 60	15 20 30 40	20

Le Hourdel / Cap Hornu	5 c	X : 546012 Y : 1278542	2007 2009 2010 2011 2012 2015 2016 2017		Soude Salicorne Aster	45 10 45	20 50 45	10

Zone	Point	Coordonnées (Lambert 1 carto)	Années labour	Quadrat	Espèces	% présence	Taille moy (cm)	% sol nu
Le Hourdel / Cap Hornu	6 a	X : 545496 Y : 1278741	2006		Obione	100	45	0
Le Hourdel / Cap Hornu	6 b	X : 545496 Y : 1278741	2006		Aster Obione Spartine Soude Puccinellie	20 20 10 30 20	40 30 30 20 30	0

Le Hourdel / Cap Hornu	6 c	X : 545496 Y : 1278741	2006		Spartine Aster Obione Puccinellie Soude	10 15 40 30 5	40 40 30 35 10	10

Zone	Point	Coordonnées (Lambert 1 carto)	Années labour	Quadrat	Espèces	% présence	Taille moy (cm)	% sol nu
Le Hourdel / Cap Hornu	7 a	X : 545671 Y : 1278561	2007 2010		Soude Aster Spartine	50 10 40	20 15 30	50
Le Hourdel / Cap Hornu	7 b	X : 545671 Y : 1278561	2007 2010		Obione Spartine	85 15	40 40	0

Le Hourdel / Cap Hornu	7 c	X : 545671 Y : 1278561	2007 2010		Soude Aster Obione Puccinellie Spartine	50 15 5 5 25	20 15 40 30 40	40
---------------------------	-----	---------------------------	--------------	--	---	--------------------------	----------------------------	----

