

Quelles sont les principales conséquences
de la dépoldérisation sur la biodiversité ?
Une approche par revue systématique

- Note de synthèse -

M. Debue, DY. Ouedraogo, R. Sordello, Y. Reyjol



© M. Debue

Mai 2021



Conservatoire du
littoral



Géosciences pour une Terre durable
brgm

UNITÉ MIXTE DE SERVICE

PATRIMOINE NATUREL



Nom du Programme : LIFE Adapto

Chargée de mission : Marianne DEBUE

Relecture : Yorick REYJOL

Contributeurs : Dakis-Yaoba OUEDRAOGO, Romain SORDELLO



L'UMS Patrimoine Naturel - PatriNat

Centre d'expertise et de données sur la nature

Depuis janvier 2017, l'Unité Mixte de Service 2006 Patrimoine Naturel assure des missions d'expertise et de gestion des connaissances pour ses trois tutelles, que sont le Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN), l'Office français de la biodiversité (OFB) et le Centre national de la recherche scientifique (CNRS).

Son objectif est de fournir une expertise fondée sur la collecte et l'analyse de données de la biodiversité et de la géodiversité présentes sur le territoire français, et sur la maîtrise et l'apport de nouvelles connaissances en écologie, sciences de l'évolution et anthropologie. Cette expertise, établie sur une approche scientifique, doit contribuer à faire émerger les questions et à proposer les réponses permettant d'améliorer les politiques publiques portant sur la biodiversité, la géodiversité et leurs relations avec les sociétés et les humains.

En savoir plus : patriinat.fr

Co-directeurs :

Laurent PONCET, directeur en charge du centre de données

Julien TOUROULT, directeur en charge des reportages et de la valorisation



Inventaire National du Patrimoine Naturel

Porté par l'UMS PatriNat, cet inventaire est l'aboutissement d'une démarche qui associe scientifiques, collectivités territoriales, naturalistes et associations de protection de la nature, en vue d'établir une synthèse sur le patrimoine naturel en France. Les données fournies par les partenaires sont organisées, gérées, validées et diffusées par le MNHN. Ce système est un dispositif clé du Système d'Information sur la Nature et les Paysages (SINP) et de l'Observatoire National de la Biodiversité (ONB).

Afin de gérer cette importante source d'informations, le Muséum a construit une base de données permettant d'unifier les données à l'aide de référentiels taxonomiques, géographiques et administratifs. Il est ainsi possible d'accéder à des listes d'espèces par commune, par espace protégé ou par maille de 10x10 km. Grâce à ces systèmes de référence, il est possible de produire des synthèses, quelle que soit la source d'information.

Ce système d'information permet de consolider des informations qui étaient jusqu'à présent dispersées. Il concerne la métropole et l'outre-mer, aussi bien sur la partie terrestre que marine. C'est une contribution majeure pour la connaissance naturaliste, l'expertise, la recherche en macroécologie et l'élaboration de stratégies de conservation efficaces du patrimoine naturel.

En savoir plus : inpn.mnhn.fr

SOMMAIRE

Introduction.....	5
1 Méthode suivie	6
2 Etat des connaissances actuelles sur le sujet	7
2.1 Sites d'étude	7
2.2 Taxons et paramètres étudiés	9
2.3 Protocoles expérimentaux.....	9
3 Robustesse des études	10
4 Conséquences de la dépoldérisation sur la biodiversité	11
4.1 Végétation	11
4.2 Poissons et macrocrustacés.....	12
4.3 Oiseaux	12
4.4 Invertébrés.....	13
4.5 Reptiles, Amphibiens, Mammifères	13
4.6 Microorganismes	13
5 Facteurs déterminant l'installation des espèces de prés-salés	14
Conclusion	17

Introduction

Le pré-salé constitue un habitat important pour la biodiversité littorale. A l'interface terre-mer, c'est un **habitat complexe et dynamique**, composé d'une mosaïque de microhabitats, eux-mêmes déterminés par de multiples gradients, notamment de salinité et de submersion. Les contraintes s'appliquant à ce milieu en font un habitat original, **déterminé par sa végétation** (spartine, salicorne, obione, statice...) **et par des espèces animales qui lui sont caractéristiques** (exemple : criquet des salines).

Le pré-salé est en effet une **zone de reproduction, de nurricerie et de refuge** pour les poissons, les macrocrustacés et les oiseaux, mais également une **zone d'hivernage** pour certains oiseaux migrateurs ; ces fonctions écosystémiques et les espèces fréquentant cet habitat évoluant au gré des marées. Lieu de **haute productivité**, il constitue une source de matière organique importante pour les communautés benthiques et planctoniques alentours, tout en **stockant le carbone, filtrant l'eau, retenant les polluants** du sol, et **limitant l'érosion** grâce à la rétention des sédiments et à l'atténuation de la force des vagues par la végétation en place.

Cet habitat a cependant vu sa superficie diminuer fortement depuis le XI^e siècle, du fait de son **endiguement pour des raisons agricoles ou défensives** (= poldérisation). Depuis la deuxième moitié du XIX^e, dans un contexte de déprise agricole, de diminution de la rentabilité des petits polders isolés et de développement d'une sensibilité écologiste, le tout renforcé par le changement climatique et la hausse du niveau des mers, la tendance s'inverse. La poldérisation s'arrête et une **recolonisation progressive** par la mer de ces terres endiguées se met en place, de manière naturelle suite à l'abandon des polders ou par intervention délibérée de l'Homme.

La **dépoldérisation** a des conséquences économiques, culturelles, paysagères, mais également écologiques. En entraînant un retour d'eau salée ou saumâtre sur des terres qui étaient totalement ou partiellement dépourvues d'influence maritime, elle provoque un **changement du cortège d'espèces** en place, pouvant favoriser l'établissement de prés-salés. L'objectif de la revue systématique réalisée dans le cadre du programme *Life Adapto* est d'étudier ces changements de cortèges d'espèces consécutifs à une dépoldérisation, et évaluer dans quelle mesure une telle opération permet le retour de ce type d'habitat.

Le présent document est une synthèse de la revue réalisée. Pour le détail de la méthode et des résultats, se référer à l'article à paraître.



Figure 1 : Pré-salé du domaine de Certes et Graveyron, Audenge (33)

1 Méthode suivie

La revue systématique est une **synthèse bibliographique standardisée** visant à répondre à une question de la manière **la plus objective** (en suivant un protocole précis et répliquable) **et exhaustive** (en cherchant à synthétiser l'ensemble de la littérature scientifique et grise existante) possible. C'est une méthode de plus en plus répandue dans la sphère scientifique, utilisée à l'échelle internationale et encadrée par une association appelée CEE (Collaboration for Environmental Evidence). Elle se déroule de la manière suivante :

- 1 Une **question** initiale est formulée (dans notre cas : « *Quelles sont les conséquences de la dépollérisation sur la biodiversité ?* »), à partir de laquelle des **bases de données** en ligne sont consultées. Les articles semblant être le plus en adéquation avec la question sont récupérés (dans notre cas 4476 articles).
- 2 Ces articles font ensuite l'objet d'un **tri en trois étapes** (tri sur titre, sur résumé et sur texte entier) par une ou plusieurs personnes, afin d'écartier les éventuels articles hors-sujets.
- 3 Cela aboutit à la création d'une base de données dont les **données descriptives** des articles sont extraites afin d'avoir une image des connaissances existantes sur le sujet.
- 4 Une **évaluation critique** est ensuite menée pour ne garder dans la revue que les articles les plus robustes scientifiquement (relevés protocolés, plan d'échantillonnage rigoureux, présence de répliqués, etc.).
- 5 Si disponibles, les données des articles sont enfin extraites pour répondre de manière statistique à la question posée ; c'est la phase dite de « **méta-analyse** », centrale dans les revues systématiques.

2 Etat des connaissances actuelles sur le sujet

4476 articles ont été extraits des bases de données. A l'issue des différentes phases de tri, 255 ont été conservés pour la revue.

2.1 Sites d'étude

- **Localisation** : la moitié des études documentées faisant suite à des opérations de dépoldérisation sont réalisées aux **Etats-Unis** et un quart au **Royaume-Uni**. Ce résultat peut certainement s'expliquer par les grands linéaires de côtes de ces deux pays, dont les conditions hydromorphologiques sont susceptibles d'accueillir un écosystème de pré-salé (Figure 2a). Les autres études sont principalement canadiennes et européennes. Sur l'ensemble des pays, les sites concernés sont majoritairement **estuariens** mais certains se trouvent également directement en front de mer ou dans une lagune.
- **Taille** : toutes les tailles de sites sont rencontrées, **de moins de 10 ha à plus de 1000 ha** (Figure 2b).
- **Poldérisation** :
 - **Période** : les premières poldérisations mentionnées dans les études collectées remontent au XVII^e et XVIII^e siècle, mais leur nombre augmente de manière exponentielle au **XIX^e et XX^e** siècle (Figure 2c), en lien avec la croissance démographique et les développements technologiques.
 - **Motifs** : La poldérisation sur les sites étudiés fut majoritairement motivée par **l'agriculture**, la création de **routes** et la production de **sel**, mais également la protection des populations humaines contre les **inondations**, la réduction des populations de **moustiques**, la **création d'habitats** pour les oiseaux d'eau et la réalisation d'activités de **dragage** ou de **forage** (Figure 2e).
- **Dépoldérisation** :
 - **Période** : La première dépoldérisation est datée de 1874 mais la plupart ont été réalisées après les **années 1990** (Figure 2c). Les sites étudiés ont donc été isolés de l'influence maritime sur des durées variables comprises entre 1 et 380 ans, **en moyenne 80 ans** (Figure 2d).
 - **Motifs** : Les dépoldérisations sont généralement **volontaires**, à des fins de restauration, de compensation écologique ou de protection contre les inondations, mais parfois aussi **naturelles**, à la suite de tempêtes (Figure 2f).
 - **Type d'intervention** : Plusieurs méthodes de dépoldérisations sont constatées : **principalement via la réalisation d'une ou plusieurs brèches dans la digue**, mais parfois également par la suppression complète de la digue, son abaissement, la pose de conduits ou de clapets à marée, ou l'enlèvement de clapets déficients. Des **opérations complémentaires** ont parfois lieu et concernent la topographie du site (creusement de canaux, dragage, nivellement, importation de matériaux, comblement de fossés) ou la végétation (plantation, exportation, fauche, pâturage). (Figure 2g)

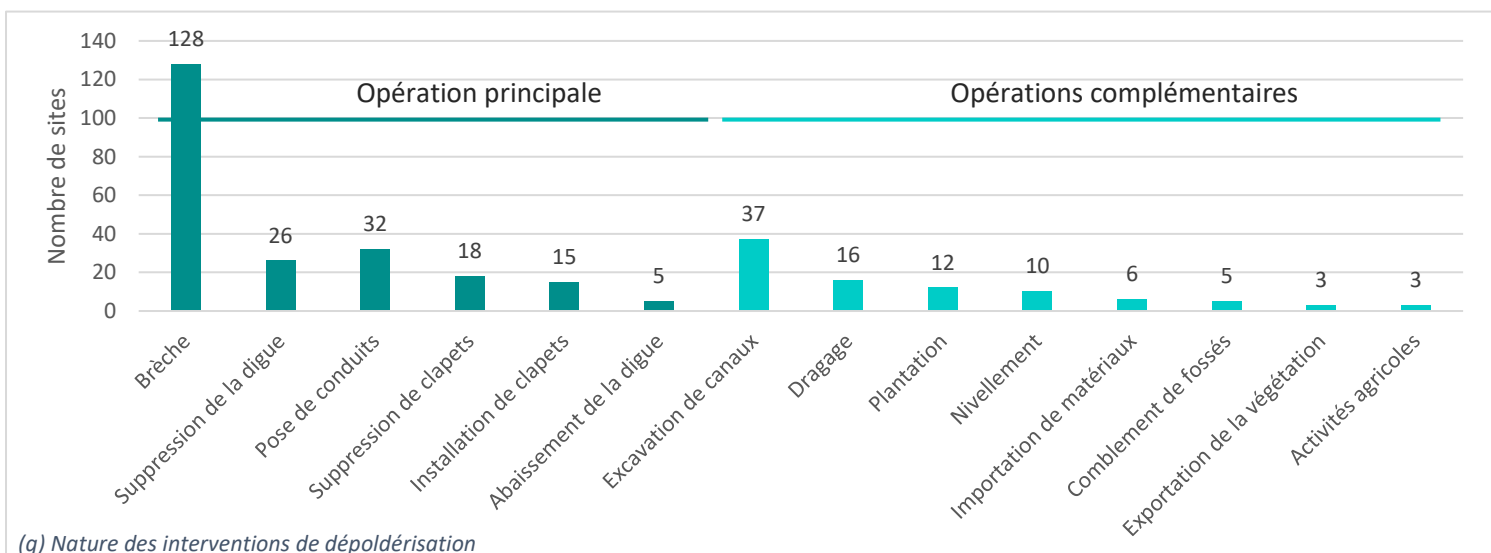
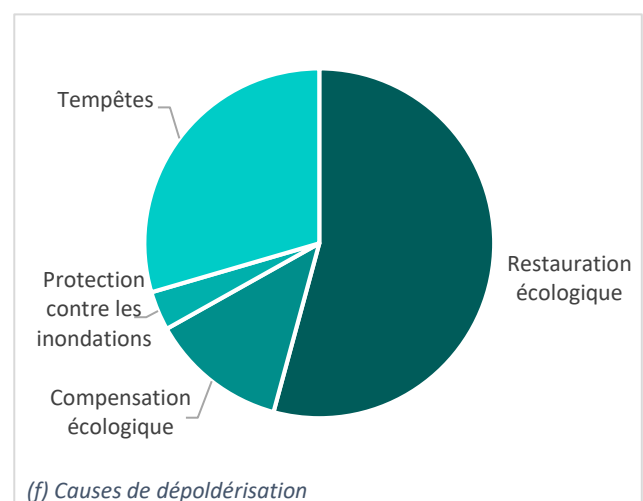
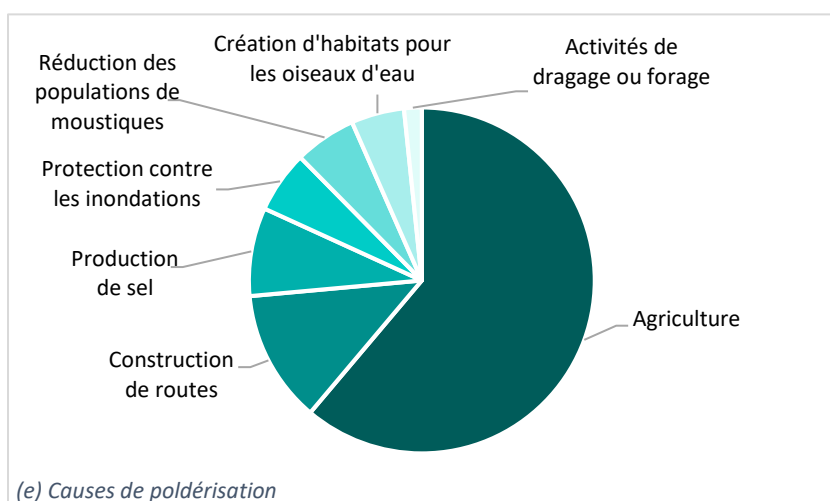
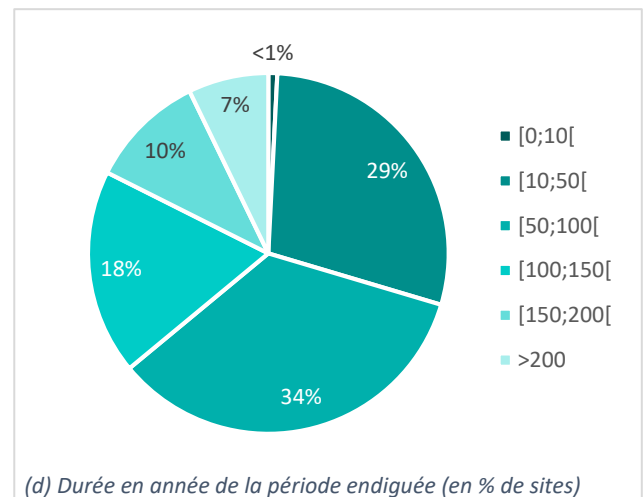
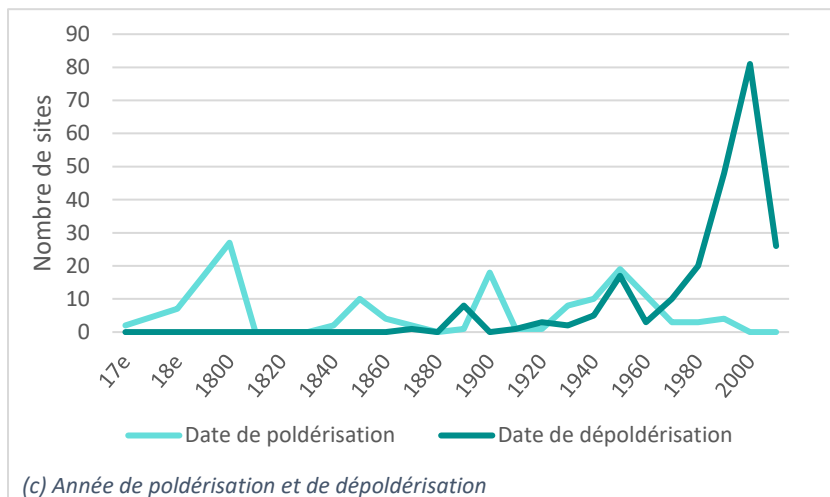
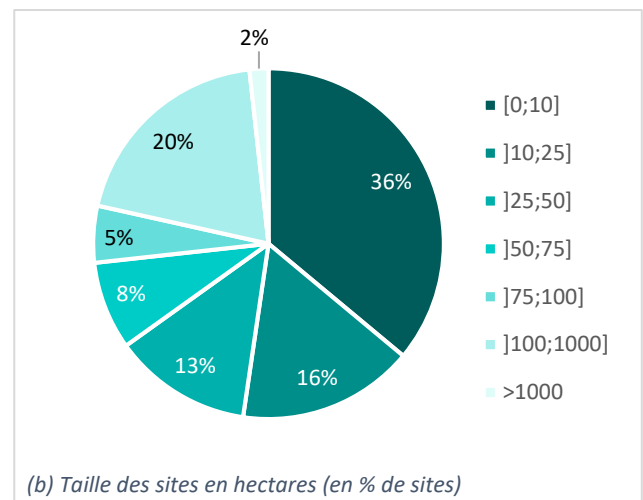
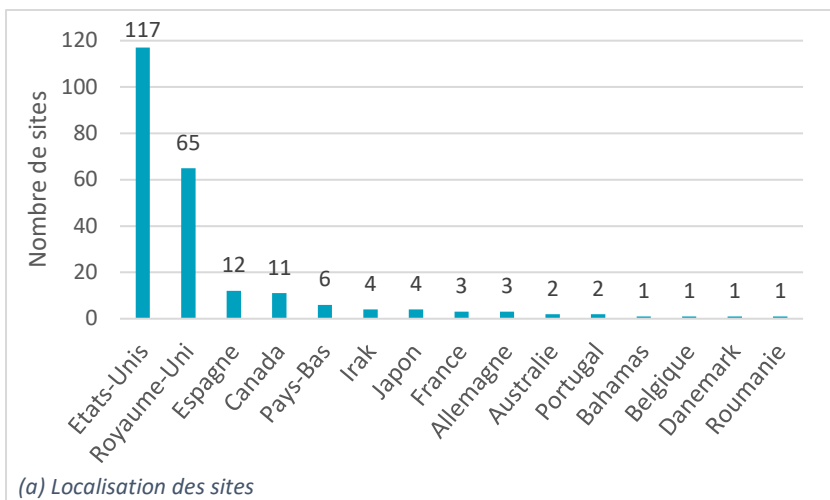


Figure 2. Description du corpus d'articles de la revue systématique

2.2 Taxons et paramètres étudiés

- **Taxons** : Dans les études collectées, l'impact de la dépollérisation est principalement mesuré sur la **végétation**, puis sur les poissons et les macrocrustacés, les oiseaux et les invertébrés (hors macrocrustacés). Les mammifères, les amphibiens, les reptiles et les microorganismes sont très peu suivis. (Figure 3).
- **Paramètres d'étude** : Les impacts de la dépollérisation sont essentiellement mesurés par rapport à la **richesse et l'abondance** des taxons, et dans une moindre mesure via des paramètres dits de structure (âge, taille, sexe des populations) et de fonction (comportement, régime alimentaire, structure trophique, fertilité, croissance, mortalité) (Figure 4).

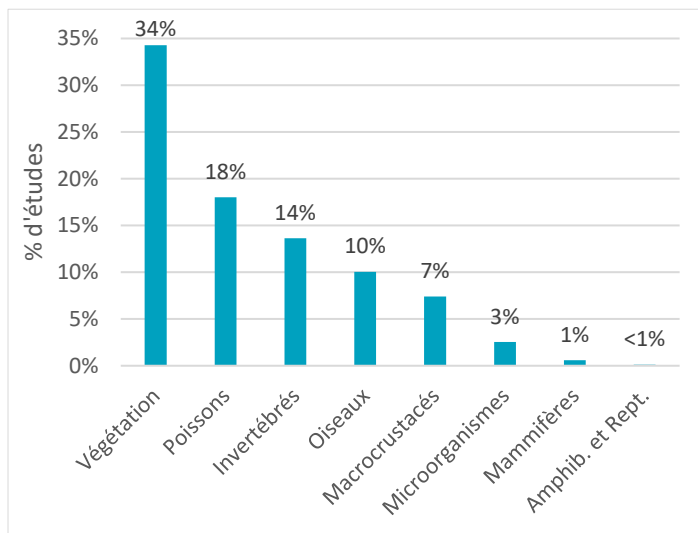


Figure 3 : Principaux groupes étudiés

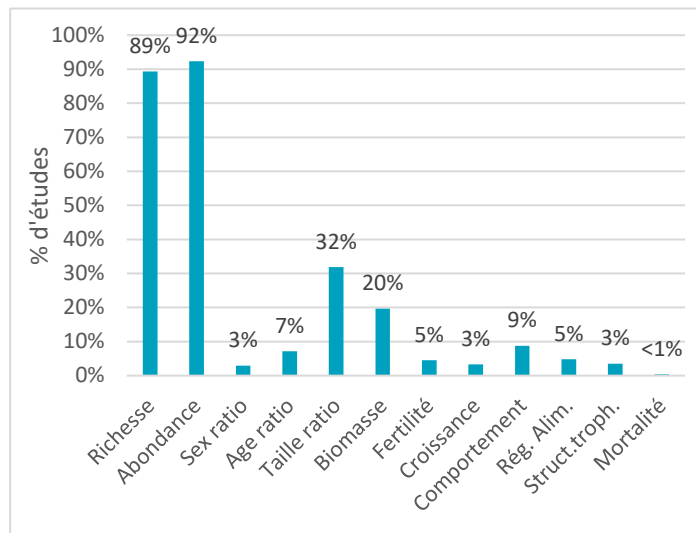


Figure 4 : Principaux paramètres étudiés

2.3 Protocoles expérimentaux

Différents protocoles expérimentaux sont mis en œuvre pour étudier les effets de la dépollérisation (Figure 5). Certains utilisent un comparateur temporel (suivi pré- et post-intervention). D'autres protocoles se basent sur un comparateur spatial (qui peut être soit un site toujours poldérisé, soit un site qui n'a jamais été poldérisé). **Moins d'un quart des études ont le protocole qui nous semble le plus robuste**, c'est-à-dire avec comparateur temporel et spatial, permettant d'attribuer un changement de biodiversité à la dépollérisation avec le plus de certitude.

- **Comparateur spatial** : Les sites utilisés comme comparateur spatial sont pour la plupart **adjacents** aux sites d'études, mais parfois éloignés de plus de 100 km.
- **Comparateur temporel** : Les suivis temporels sont **relativement courts**, la majorité dure moins de 3 ans avant la dépollérisation et moins de 10 ans après celle-ci.

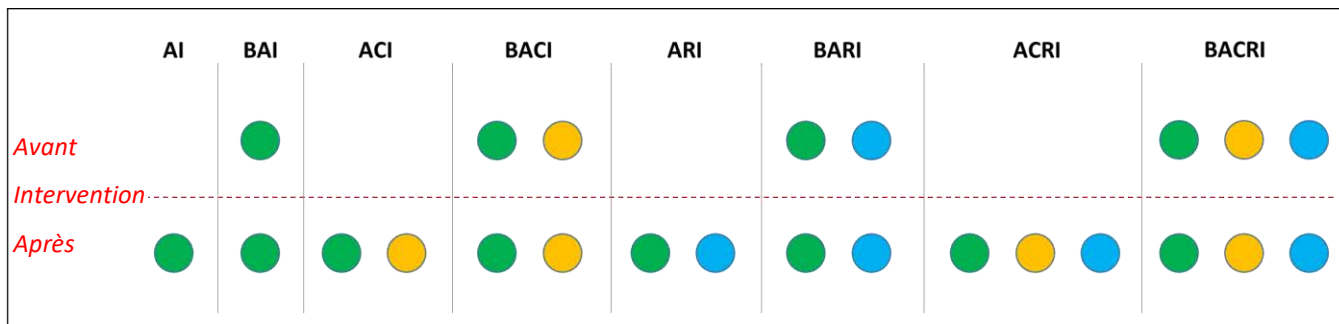


Figure 5 : Différents dispositifs expérimentaux

Cercle vert : échantillonnage sur un site d'étude ; Cercle jaune : échantillonnage sur un site contrôle (toujours poldérisé) ; Cercle bleu : échantillonnage sur un site référence (jamais poldérisé)

B: Before (Avant) ; A: After (Après) ; I: Intervention ; C: Site contrôle ; R: site référence

3 Robustesse des études

Beaucoup d'articles (environ 60%) manquent de robustesse scientifique. Nous rappelons ici plusieurs points qui sont importants à mettre en œuvre, dans la mesure du possible, lors d'une étude de dépoldérisation¹ :

- Préciser le contexte du site (localisation, taille, historique, habitats en place, nature de la dépoldérisation) ;
- Détailler le protocole suivi (date, durée et localisation des relevés, matériel utilisé, étapes suivies) et le garder constant tout au long de l'étude ;
- Mettre au point un plan d'échantillonnage en amont de la phase de terrain ;
- Avoir un comparateur spatial et un comparateur temporel ;
- Répéter les mesures avant et après intervention, en gardant les mêmes protocoles et le même plan d'échantillonnage ;
- Réaliser des suivis sur le long terme ;
- Rapporter les données clés lors de la rédaction de l'étude : nombre d'échantillons, moyenne, variance.

¹ Pour des critères généraux sur la qualité des protocoles expérimentaux en écologie, voir : <https://inpn.mnhn.fr/docs-web/docs/download/247457>

4 Conséquences de la dépoldérisation sur la biodiversité

4.1 Végétation

Les conséquences de la dépoldérisation sur la végétation sont variables selon les études et les sites mais le passage d'une végétation non halophile (ne tolérant pas le sel) à une végétation halophile reste une constante, et ce dès les premières années post-restauration.

Ainsi, les submersions consécutives à la dépoldérisation entraînent la mort des espèces ne tolérant pas le sel (ou leur submersion stricto sensu), et le développement de vasières, soit permanentes si les submersions sont trop fréquentes pour l'installation d'une nouvelle flore, soit temporaires. Celles-ci sont alors colonisées par différentes espèces de prés-salés, de la slikke et du bas-schorre dans les zones les plus inondées (spartine, salicorne, puccinellie maritime...) et du moyen et haut-schorre dans les zones plus élevées (obione faux-pourpier, jonc de Gérard...) (Figure 6). Des espèces aquatiques comme la ruppie maritime peuvent se développer dans les zones subtidales. A noter également une tendance à la régression du Roseau commun, mais qui est fonction de l'augmentation de la salinité et des niveaux d'eau. Les espèces qui se mettent en place et leur vitesse d'installation dépendent des conditions du milieu (fréquence des inondations, salinité, compétition interspécifique... (cf section 5.)).

De manière générale, une diminution de la richesse spécifique est observée, les espèces halophiles étant globalement moins nombreuses que les espèces non halophiles, mais ce résultat dépend cependant de l'état initial du site (ex : prairie diversifiée vs. monoculture).

Bien que la végétation réponde rapidement au retour de l'eau salée, les communautés végétales peuvent encore évoluer plusieurs années à dizaines d'années après la dépoldérisation, aussi bien dans leur composition que dans leur répartition spatiale, car d'autres paramètres, notamment l'élévation du site ou la constitution d'une banque de graines, évoluent beaucoup plus lentement. Par exemple, on assiste généralement sur le moyen terme au développement d'espèces caractéristiques du haut-schorre au fur et à mesure de la sédimentation et de l'élévation du site.



Figure 6 : Végétation de pré-salé

De haut en bas, de gauche à droite : Spartine à feuilles alternes, Salicorne d'Europe, Obione faux-pourpier, Jonc de Gérard

4.2 Poissons et macrocrustacés

Les changements des communautés de poissons et macrocrustacés – l'ensemble des deux étant souvent appelé le « necton » – provoqués par la dépoldérisation sont **variables selon les études**. Les sites entièrement agricoles et initialement dépourvus d'eau voient naturellement la richesse et l'abondance en necton augmenter. En revanche, ceux déjà partiellement sous influence maritime présentent des trajectoires variables, certains manifestant une augmentation de la richesse spécifique en necton, tandis qu'elle ne change pas ou diminue pour d'autres. Il en va de même pour l'abondance globale du necton.

Différents facteurs peuvent expliquer ces résultats : la création de nouvelles surfaces en eau justifie l'augmentation de l'abondance ; à l'inverse, la dépoldérisation peut entraîner la disparition de macroalgues pouvant servir de refuge à certaines espèces du necton, et/ou l'augmentation de la prédation par de gros poissons dont l'accès au site était auparavant impossible, ou par l'arrivée d'échassiers, expliquant ainsi la diminution d'abondance des poissons et macrocrustacés. Il peut également y avoir probablement un effet de compensation, c'est-à-dire que certaines espèces, notamment d'eau douce, diminuent en abondance ou disparaissent, et sont remplacées par des espèces diadromes ou estuariennes, ce qui implique un changement de la composition des communautés mais pas de changement global de richesse ou d'abondance.

Les études s'accordent cependant sur le fait que **le necton répond dès les premières années** au retour de l'eau salée, mais cela n'implique pas pour autant que la communauté soit établie et que le milieu soit « écologiquement fonctionnel » aussi rapidement.

4.3 Oiseaux

Les oiseaux semblent répondre rapidement à la dépoldérisation, **dès la première année**, mais de manière différenciée selon les conditions du milieu.

Plusieurs études soulignent une **augmentation en abondance des limicoles** presque immédiate mais qui se tempore par la suite. Ces oiseaux dépendent en effet des vasières pour leur alimentation, et la végétalisation de ces dernières peut entraîner une diminution du nombre de limicoles par la suite. Leur arrivée peut également être retardée si les invertébrés dont ils se nourrissent ne sont pas présents. **L'abondance des échassiers et des anatidés semblent également augmenter** mais une étude tempère ce résultat, en mettant en évidence une diminution du nombre de bernaches dans les premières années suivant la dépoldérisation puis une augmentation plus tardive, du fait de la disparition temporaire de la végétation dont elle se nourrit. Les **espèces se reproduisant dans les prés-salés ont quant à elles des réponses moins nettes**. La dépoldérisation entraîne en effet une submersion du site qui peut provoquer la destruction des nids au ras du sol, mais la sédimentation du site et son élévation pourraient permettre un retour de ces espèces sur le long terme. Enfin, les passereaux et autres oiseaux plus terrestres semblent voir leur abondance diminuer mais cette évolution est fonction des sites.

De manière générale, l'évolution de la richesse et de l'abondance en oiseaux est **fonction des habitats présents** avant et après dépoldérisation. Si la submersion entraîne la création d'une mosaïque d'habitats (apparition de zones en eau, de vasières, diminution mais maintien de roselières, de prairies sur les zones surélevées, fragmentation des habitats créant de nouvelles lisières), une augmentation de la diversité peut être attendue. A l'inverse, si le site est déjà en partie sous influence maritime ou s'il devient entièrement submergé, la richesse peut rester stable ou diminuer.



Figure 7 : Bécasseau minute et Grande aigrette, deux espèces dont l'abondance augmente après dépoldérisation

4.4 Invertébrés

Les études sur les invertébrés incluent des groupes différents : principalement les invertébrés benthiques, mais aussi et dans une moindre mesure, les insectes, et en particulier les moustiques, et le zooplancton.

La réponse des invertébrés benthiques à la dépoldérisation semble **dépendre des conditions édaphiques** du site (compaction, granulométrie, teneur en matière organique...) et peut se faire dès la première année, mais, sur les sites dégradés (pollués, sol compact, où peu d'invertébrés sont présents), le retour de ces invertébrés peut prendre plusieurs années, le temps que les conditions du milieu deviennent plus favorables et que les larves colonisent le site.

Concernant les **moustiques**, les quelques études portant sur ce taxon s'accordent sur le fait que la dépoldérisation **n'augmente pas leur abondance**, du moins si un système de drainage efficace se crée et évite la stagnation de l'eau. L'arrivée de poissons prédateurs sur le site renforce également le contrôle de ces populations.

4.5 Reptiles, Amphibiens, Mammifères

Une seule étude réalise un suivi avant et après restauration de ces trois taxons. Elle conclut à la **disparition des grenouilles et au déclin des serpents et des petits mammifères** du fait de la submersion par des eaux salées. Elle remarque cependant que la diminution des petits mammifères est peut-être temporaire, en lien avec la disparition de la végétation qui leur sert d'abri, mais qu'ils seraient susceptibles de ré-augmenter en nombre avec le développement de la végétation de pré-salé.

A noter qu'il existe des études mentionnant la présence d'œufs, de larves ou d'adultes d'amphibiens dans des milieux saumâtres ou salés (crapaud commun, crapaud calamite, pélobate cultripède...). La hausse de salinité du fait de la dépoldérisation n'entraînerait donc pas nécessairement la disparition de ce taxon mais le manque de données ne permet pas de répondre à cette question.

4.6 Microorganismes

Les conséquences de la dépoldérisation sur les microorganismes du sol sont **peu étudiées**, même s'ils ont un rôle fondamental dans le fonctionnement du milieu et sont à la base des réseaux trophiques. Il semblerait que les **communautés microbiennes répondent dès les premières années** au retour de l'eau salée, mais peuvent encore évoluer pendant plusieurs dizaines d'années.

La réponse des communautés microbiennes à la dépoldérisation serait fonction de leur nature (bactéries, archées...), de leur profondeur de vie (les communautés profondes mettraient plus de temps à se rétablir que celles de surface, pouvant traduire un impact plus important ou plus durable de la poldérisation en profondeur) et de leur métabolisme (oxydation de l'ammoniac, des nitrites...).

Les différences dans les communautés microbiennes entre sites restaurés et sites jamais poldérisés peuvent impliquer des **différences au niveau de la fonctionnalité** des sites (par exemple, des différences dans les communautés de bactéries dénitrifiantes peuvent entraîner des différences dans le cycle de l'azote). Cela n'est cependant pas systématique du fait de la **redondance fonctionnelle** des organismes (fait que des organismes partagent des rôles équivalents et que la disparition de l'un d'entre eux n'implique pas nécessairement une modification du milieu).

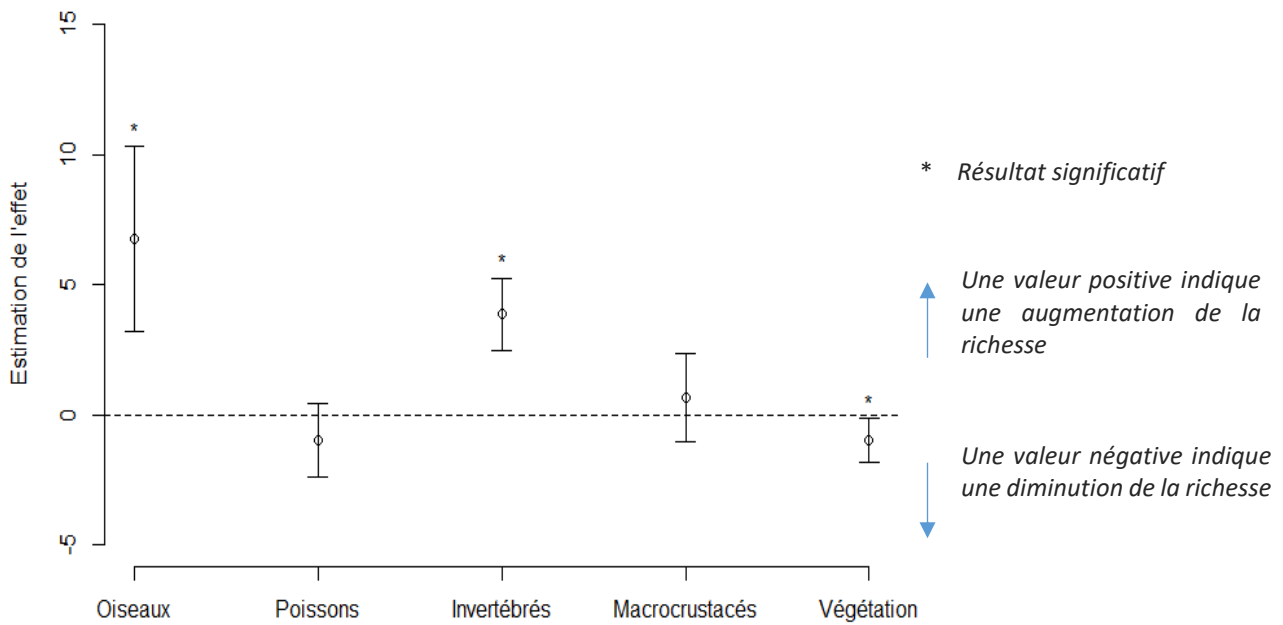


Figure 8. Résultats de la méta-analyse caractérisant l'évolution de la **richesse spécifique** de différentes populations au moment d'une dépollérisation. La richesse spécifique en oiseaux et en invertébrés augmente significativement, tandis que celle des végétaux diminue significativement. Ces résultats sont cependant à prendre avec précaution pour les oiseaux du fait du faible nombre d'études.

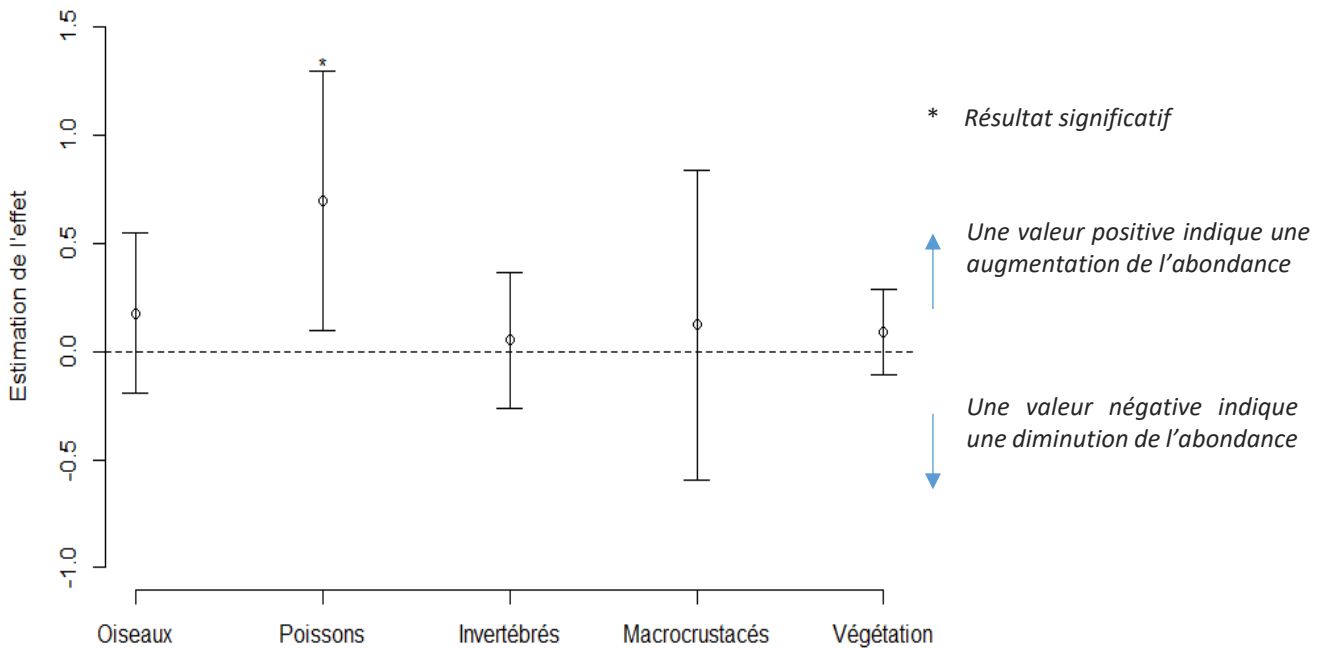


Figure 9. Résultats de la méta-analyse caractérisant l'évolution de l'**abondance** de différentes populations au moment d'une dépollérisation. Seule l'abondance en poissons augmente de manière significative.

5 Facteurs déterminant l'installation des espèces de prés-salés

De nombreux facteurs, variables selon les sites et au sein de sites, interagissent entre eux et déterminent le développement du pré-salé et de ses espèces associées. La multiplicité de ces facteurs et leurs interactions expliquent la variabilité et la difficulté de prévoir à coup sûr les résultats d'une dépollérisation, même si des tendances peuvent se dégager (Tableau 1).

Tableau 1 : Liste non exhaustive de facteurs interagissant et expliquant la diversité des résultats d'une dépollérisation

Catégorie	Facteurs	Influe sur...	Exemples
Composante biotique	-	Composante biotique (interactions entre espèces)	<i>Spartina patens est une espèce compétitive dont le dense réseau de rhizomes, difficile à pénétrer, peut empêcher l'installation d'espèces telle que Spartina alterniflora, même si les conditions du milieu lui sont favorables. Le polychète Nereis diversicolor empêcherait l'installation d'espèces végétales pionnières du fait de son herbivorie. La végétalisation d'un site améliore sa colonisation par des microorganismes, par des poissons qui y trouvent refuge. L'arrivée des limicoles dépend du développement des invertébrés benthiques dont ils se nourrissent.</i>
		Composante édaphique	<i>Les racines, les microorganismes modifient la composition chimique du sol (sécrétions racinaires, décomposition de la matière organique), sa compaction et donc son aération.</i>
		Élévation	<i>Selon les espèces végétales en place, les systèmes racinaires et donc la rétention des sédiments sont différents. Selon les microorganismes, certains peuvent déstabiliser le sol par leur activité de bioturbation, favorisant son érosion ; à l'inverse, d'autres peuvent sécréter du mucilage favorisant l'agglomération des particules et limitant l'érosion du sol.</i>
		Flux d'eau	<i>La végétation diminue la vitesse de l'eau en réalisant une force de frottements, qui est fonction des espèces (tige souple ou rigide).</i>
Composante édaphique	-	Composante édaphique (interactions physico-chimiques)	<i>L'oxygénation du sol influence son potentiel oxydo-réducteur, lui-même déterminant l'état chimique des nutriments (et leur assimilabilité) ou celui des métaux (et leur toxicité) pour les organismes vivant. La granulométrie influe sur la rétention en eau, qui elle-même impacte la sensibilité à la compaction.</i>
		Composante biotique	<i>La composition chimique d'un sol détermine les espèces végétales, les communautés bactériennes pouvant se mettre en place (halophile ou non, calcicole ou acidicole, hygrophile ou xérophile...).</i> <i>La compaction du sol, la présence d'éléments grossiers rendent plus difficiles le développement racinaire, l'installation d'invertébrés benthiques.</i>
		Élévation	<i>Un sol gorgé d'eau est plus sensible à l'érosion.</i>
Facteurs hydriques	Temps de submersion	Composante biotique	<i>La submersion entraîne la disparition d'espèces végétales n'étant pas physiologiquement adaptée aux inondations répétées, crée de nouveaux habitats pour les poissons (zones en eau) ou les limicoles (création de vasières temporaires ou permanentes). Plus la durée de submersion est grande, plus la fenêtre de temps d'accessibilité du site aux poissons est grande.</i>
		Composante édaphique	<i>La submersion augmente la salinité du sol, diminue son aération, pouvant aller jusqu'à l'anoxie, ce qui modifie les réactions chimiques de décomposition de la matière organique.</i>
		Élévation	<i>Plus la durée de submersion est grande, plus le temps d'apport de sédiments est important, plus l'élévation augmente.</i>
	Vitesse du flux d'eau	Élévation	<i>Une vitesse élevée de l'eau limite la sédimentation.</i>
Topographie		<i>Une vitesse élevée de l'eau augmente l'érosion mais aussi la disponibilité en sédiments, et facilite le creusement de canaux.</i>	
Facteurs géographiques	Climat	Composante édaphique	<i>Des précipitations élevées augmentent l'apport en eau douce sur le site et diminue sa salinité. Une évaporation importante augmente la salinité d'un milieu.</i>
	Élévation	Temps de submersion	<i>Plus un site est élevé, moins il est submergé.</i>

Catégorie	Facteurs	Influe sur...	Exemples
Facteurs géographiques	Topographie	Composante biotique	<i>La présence de mares permet la survie de poissons à marée basse et crée des zones de pêche pour les échassiers ; les canaux constituent des voies de circulation pour les poissons, notamment ceux de grandes tailles qui ont besoin de profondeur et ne peuvent se déplacer à la surface des prés-salés.</i>
		Composante édaphique	<i>Les canaux favorisent le drainage du site et limite la saturation en eau du sol.</i>
		Temps de submersion	<i>Plus un site est drainé, plus le temps de submersion est court.</i>
		Vitesse du flux d'eau	<i>Un canal sinueux limite la vitesse de l'eau par rapport à un canal rectiligne.</i>
	Localisation du site	Elévation	<i>Plus il y a de canaux dans un site, plus les sédiments pourront être apportés loin dans le site.</i>
		Composante biotique	<i>La proximité d'un pré-salé accélère l'arrivée de graines et détermine les premières espèces qui s'installent, d'autant plus si le pré-salé est en aval du site restauré (l'eau se charge en graines en le submergeant).</i>
		Composante édaphique	<i>Un site en front de mer est soumis à une eau salée, un site en fond d'estuaire à une eau saumâtre.</i>
	Taille, forme du site	Vitesse du flux d'eau	<i>L'eau arrive avec une énergie plus forte sur un site en front de mer par rapport à un site en fond d'estuaire.</i>
		Temps de submersion	<i>Pour un même volume d'eau qui entre dans un site, un petit site circulaire ne développe pas le même gradient de submersion qu'un grand site allongé.</i>
Facteurs anthropiques	Historique du site	Composante biotique	<i>L'occupation d'un sol détermine les graines déjà présentes sur site ; plus un site est maintenu poldérisé longtemps, moins il reste de graines d'espèces de pré-salé ; selon si le site est totalement ou partiellement coupé de l'influence maritime, des espèces de pré-salé peuvent déjà être en place.</i>
		Composante édaphique	<i>Un site agricole ou un site en friche n'ont pas la même richesse chimique.</i>
		Elévation	<i>Un sol agricole est plus compact et moins élevé.</i>
	Mesures principales de dépoldérisation (action sur la digue)	Topographie	<i>La présence d'un ancien réseau de fossés limite le développement d'un système de canaux dendritique et restreint le flux d'eau en surface du site.</i>
		Composante biotique	<i>Dépoldériser avant la période de production des graines ou de déplacement des larves permet un retour plus rapide de la végétation et des invertébrés benthiques en comparaison d'une dépoldérisation qui a lieu après. Dépoldériser par la pose d'un conduit peut restreindre l'accès du site à certaines espèces de poissons par rapport à une brèche.</i>
		Temps de submersion	<i>Faire une brèche ou installer un conduit dans une digue ne laisse pas entrer le même volume d'eau.</i>
		Vitesse du flux d'eau	<i>Laisser une digue en place permet d'atténuer l'énergie des vagues arrivant sur le site par rapport à une suppression de digue.</i>
		Elévation	<i>Faire une brèche permet de laisser la digue en place, et en se détériorant, elle fournit des sédiments au site, contrairement à une suppression complète de la digue.</i>
	Mesures complémentaires de dépoldérisation (actions sur la topographie, la végétation...)	Composante biotique	<i>Exporter la biomasse favorise l'installation d'espèces végétales ne supportant pas l'enfouissement ; cela peut limiter le piégeage des graines mais aider leur germination sur un sol nu. Mettre en place du pâturage peut favoriser certaines espèces aux dépens d'autres et limiter les monocultures au profit de mosaïques de végétation. Créer des canaux peut favoriser la circulation des poissons dans le site mais cela est conditionné par la taille des canaux par rapport à la taille des individus</i>
		Composante édaphique	<i>Ne pas exporter la végétation en place augmente la richesse du sol en nutriments, favorisant l'installation d'espèces nitrophiles au moins les premières années, jusqu'à ce que l'azote ait été absorbé ou lessivé. Mettre en place du pâturage augmente la compaction des sols.</i>
		Topographie	<i>Décider de créer des canaux, de modifier l'élévation du site par l'apport ou l'export de sédiments modifie sa topographie ; le choix de l'emplacement, de la forme des canaux peut impacter leur efficacité.</i>

Conclusion

La dépoldérisation entraîne un **changement des cortèges d'espèces** présents sur un site. Une **direction commune** peut s'observer quelque soit le site, avec le développement d'une végétation de pré-salé, l'arrivée d'espèces de poissons ou de macrocrustacés, l'augmentation du nombre de limicoles. Le résultat précis d'une dépoldérisation est en revanche propre à chaque site et **fonction de nombreux paramètres** (biotiques, abiotiques, hydriques, géographiques, anthropiques), qui interagissent entre eux. Bien que des changements de biodiversité s'observent rapidement, dès la première année post-restauration, les cortèges d'espèces peuvent continuer **d'évoluer pendant plusieurs dizaines d'années**. La question d'un retour à un pré-salé fonctionnel et pourvoyeur de services écosystémiques est toujours en suspens, peu d'études portant sur ces aspects.



Figure 10 : Pré-salé à Lancieux (22)

RÉSUMÉ

Dans le cadre du programme LIFE Adapto, mené par le Conservatoire du Littoral, une revue systématique portant sur les conséquences de la dépollérisation sur la biodiversité a été réalisée. Le présent document est une synthèse de cette revue.

Après une brève présentation de la méthode suivie, un état des lieux des connaissances sur le sujet est réalisé, notamment les contextes des études recensées, les taxons et les paramètres mesurés ainsi que les protocoles expérimentaux mis en œuvre. Les principaux écueils rencontrés dans ces études sont abordés. Une synthèse des conséquences de la dépollérisation pour différents groupes taxonomiques est ensuite effectuée. Une dernière partie présente une liste non-exhaustive de paramètres intervenant lors d'une dépollérisation et leurs interactions entre eux, qui peuvent expliquer la variabilité de résultats d'une telle opération.



UMS 2006 Patrimoine Naturel
Muséum national d'Histoire naturelle
CP41, 36, rue Geoffroy Saint-Hilaire
75005 Paris
patrinat.mnhn.fr



www.ofb.gouv.fr



www.cnrs.fr



www.mnhn.fr