



Stijn TEMMERMAN

University of Antwerp  
Ecosystem Management  
research group

## 2.11 | Protection littorale basée sur la restauration de marais salés le long de littoraux

Bonjour tout le monde. Mon nom est Stijn Temmermann, je suis professeur à l'université d'Anvers en Belgique et avant toute chose, je souhaite remercier les organisateurs de ce colloque de m'avoir invité. Et je voudrais m'excuser car je n'ai pas préparé ma présentation en français.

Je vais essayer de résumer les messages clés pour chaque diapo en français et peut-être que je changerai de temps en temps en anglais, mais mon collègue Jean-Philippe Belliard fera la traduction. Merci bien Jean-Philippe !

## CONTEXTE : BEAUCOUP DE MARAIS LITTORAUX SONT ENDIGUÉS ET ASSÉCHÉS

### Contexte

Le contexte de ma présentation est le suivant : beaucoup des marais littoraux sont endigués et asséchés en particulier en Europe. Et je commencerais avec l'exemple des Pays-Bas.

**Diapo 03**, c'est une image typique des Pays-Bas où il y a des vasières, des marais et des digues.

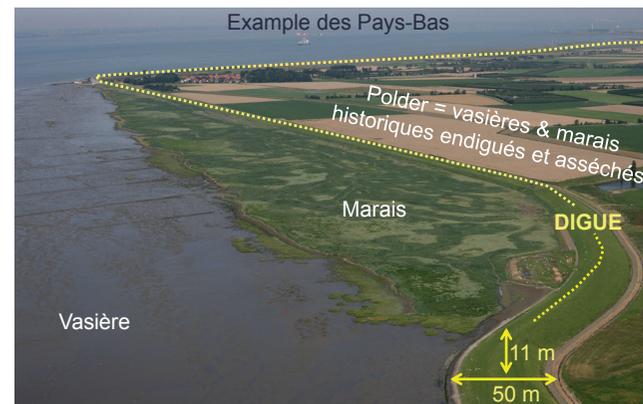
Les digues protègent le paysage contre les submersions et les paysages s'appellent des polders. Ce sont des vasières et marais historiques qui sont endigués et asséchés. C'est assez intéressant. « Polder » est un mot néerlandais et aussi « slikke » et « schorre », ce sont des mots néerlandais qui sont aussi utilisés en français. et correspondent à la situation de beaucoup d'endroits en Europe.

Par exemple, cette carte, **diapo 04**, démontre en orange les marais historiques ayant été endigués et asséchés. Le Marais poitevin est ici et je vais donner des exemples de la Belgique et des Pays-Bas dans la diapo suivante.

**Diapo 05**, nous avons les plus grands marais littoraux en Europe et je vais donner deux messages clés.

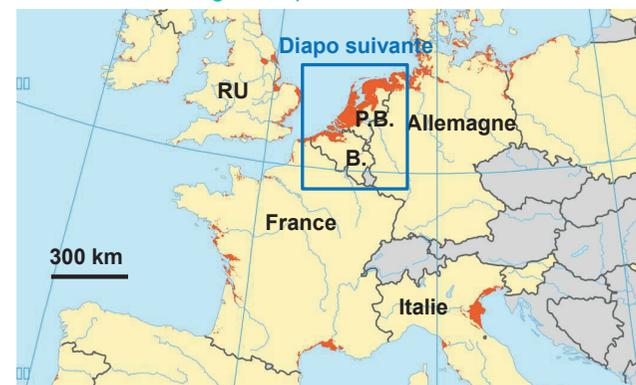
Le premier message est que la poldérisation historique a augmenté le risque de submersion. La construction des digues, c'est de la protection immédiate contre les submersions. C'est clair, mais dans une échelle de temps plus longue, cela augmente les risques de submersion.

Et le deuxième message clé est que la restauration des marais est une défense naturelle contre les submersions. Et les exemples viennent de l'estuaire de l'Escaut qui est situé ici et qui est montré dans la diapo suivante.



Diapo 03 > Exemple des Pays-Bas

E.g. Europe du Nord Ouest



Orange = marais historiques ayant été endigués et asséchés

Diapo 04 > Europe

Exemples de la Belgique & des Pays-Bas

Les plus grands marais littoraux en Europe

#### MESSAGES CLÉS:

- (1) Poldérisation historique a augmenté le risque de submersion
- (2) Restauration des marais comme défense naturelle contre les submersions



Diapo 05 > Exemples de la Belgique et des Pays-Bas

# I. LA POLDÉRISATION DES MARAIS HISTORIQUES AUGMENTENT LE RISQUE DE SUBMERSION

Le premier message clé : la poldérisation des marais historiques augmente le risque de submersion.

**Diapo 07**, c'est une carte de l'estuaire de l'Escaut. Actuellement, il y a environ 35 kilomètres carrés de marais restants. Le marais plus grand, c'est ici, c'est un des marais les plus grands d'Europe.

Mais si on regarde des cartes géologiques **diapo 08**, on sait qu'il y a 1000 ans, il avait environ 1000 kilomètres carrés de marais. Donc, la superficie des marais a diminué au cours des 1000 dernières années.

La **diapo 09**, c'est un modèle numérique de terrain actuel à base de LIDAR.

Vous voyez l'estuaire et en marron le marais actuel, le plus grand marais. Et en vert, ce sont les marais endigués et asséchés, donc les polders et il y a des digues. Tout au long de l'histoire, on a construit des digues de plus en plus proche de l'estuaire.

**Diapo 10**, on peut voir les âges des polders, les années d'aménagement des marais.

Dans la **diapo 11**, on peut voir un profil d'élévation le long d'un transect suivant l'âge des polders et alors, on peut voir que le paysage, c'est un paysage en terrasses.

Or, les polders s'affaissent avec l'âge et nous avons déjà vu une image comme ça pour la région du Marais poitevin.

Eric Chaumillon a déjà montré ce même type de profil ce matin, lors de sa présentation.

La raison pour laquelle le paysage est en terrasses, est que la poldérisation des marais stoppe le processus de sédimentation et le drainage, et cause une subsidence du sol.

Parfois, il y avait aussi des excavations des tourbières historiques dans cette région. Ce phénomène a diminué l'élévation du terrain et en plus, a augmenté la hauteur des marais et des surcotes de tempêtes.

On peut voir la hauteur de pleine mer des marais actuels. Aujourd'hui la différence entre la hauteur de pleine mer des marais et l'élévation du terrain est presque de 3 mètres.

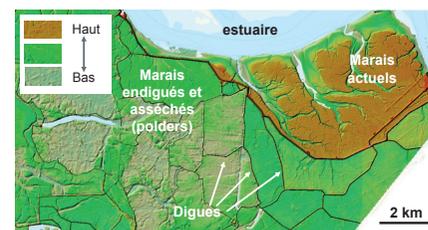
Cela pose des risques énormes. Quand cette digue est détruite pendant une tempête, il y a de grands risques d'inondation, sachant que beaucoup de gens habitent sur ce terrain très bas.



Diapo 07 et 08 >

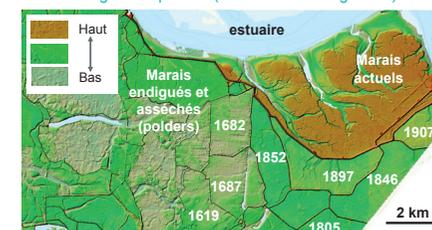


Modèle numérique de terrain actuel (LIDAR)



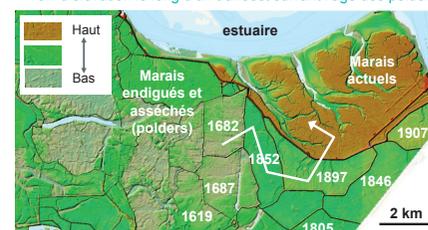
Diapo 09

Modèle numérique de terrain actuel (LIDAR) & âges des polders (= année d'aménagement)



Diapo 10

Diapo suivante: Profil d'élévation le long d'un transect suivant l'âge des polders



Diapo 11

PAYSAGE EN TERRASSE Les polders s'affaissent avec l'âge



Diapo 12

PAYSAGE EN TERRASSE

La poldérisation des marais stoppe le processus de sédimentation & le drainage cause une subsidence du sol (& parfois l'excavation de tourbières historiques)



Diapo 13

Ceci diminue l'élévation du terrain!



Diapo 14

Diapo 09 à 14 >

La poldérisation historique a aussi augmenté la hauteur des marais et surcôtes de tempêtes. C'est illustré dans ce graphique **diapo 15**.

**Diapo 16**, ce sont des résultats modélisés par Van der Spek and al. où ils ont modélisé les conséquences de la transformation des marais en polders, ce qui augmente fortement la hauteur à marée haute et a aussi pour conséquence une diminution progressive de la hauteur à marée basse.

Et c'est à cause de la réduction des ondes de rétention d'eau.

Cela pose des risques énormes comme le montre la **diapo 18** : c'est une image des inondations de 1953 pendant une marée de tempête qui a fait plus de 1800 morts.

## II. LA RESTAURATION DES MARAIS PEUT CONSTITUER UN SYSTÈME DE DÉFENSE NATURELLE CONTRE LES SUBMERSIONS

Alors, que peut-on faire pour éviter ces inondations?

On peut élever les digues. C'est la première solution.

Mais en Belgique, on a aussi choisi de restaurer des marais parce qu'ils constituent un système de défense naturelle contre les submersions.

**Diapo 20**, c'est la carte de l'estuaire de l'Escaut actuellement et **diapo 21** la situation d'ici 2030. Le projet est de transformer 40 kilomètres carrés, et de créer des zones tampons et des marais dans des polders.

**Diapo 22**, vous est présenté le SIGMAPLAN en Belgique, en Flandre.

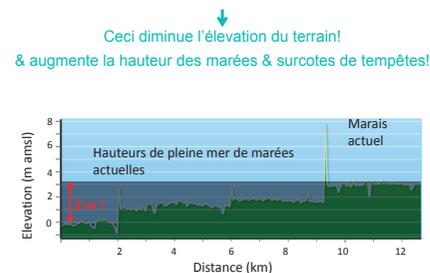
Nous sommes en train de réaliser ce projet, qui a commencé avec un projet pilote, ici à Lippenbroek, en 2006.

C'est un petit polder, et le système marche ainsi : on va construire une nouvelle digue devant la digue ancienne qui est le long de l'estuaire, et l'élévation des digues est moindre.

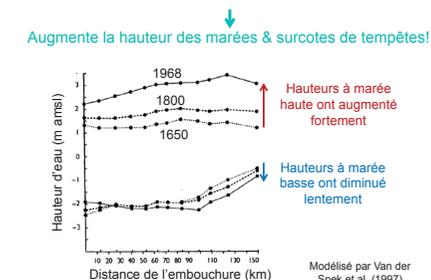
Donc pendant de fortes tempêtes, quand la hauteur de l'eau est très élevée dans l'estuaire, l'eau peut couler au-dessus de l'ancienne digue. Et on a un réservoir pour stocker l'eau (entre les 2 digues). C'est un projet pilote.

Nous avons réalisé plus de sept réservoirs, comme sur la **diapo 23**, où le réservoir est un peu plus grand.

Et le projet le plus grand est le projet ci-contre **diapo 24** : c'est un projet combiné en territoires néerlandais et flamands.



**Diapo 15**



**Diapo 16**



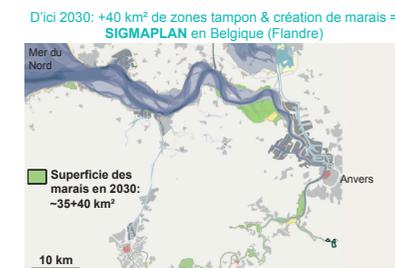
**Diapo 17**



**Diapo 18**



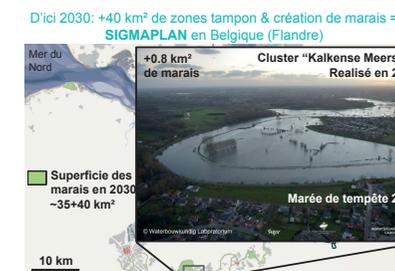
**Diapo 20**



**Diapo 21**



**Diapo 22**



**Diapo 23**

Ici on va construire un marais de six kilomètres carrés. On peut voir qu'on est en train de construire une nouvelle digue, puis on va faire des brèches dans la digue. Et alors, le polder va se développer en marais.

**Diapo 25**, c'est un résultat de simulation d'une marée de tempête centennale. On peut voir qu'il y a une diminution de la hauteur d'eau de 60 à 80 centimètres par la présence des marais.

Et cela est réalisé le long de l'estuaire : on voit la distance le long de l'estuaire, la distance de l'embouchure, et la hauteur d'eau ; et, ici, c'est la situation présente.

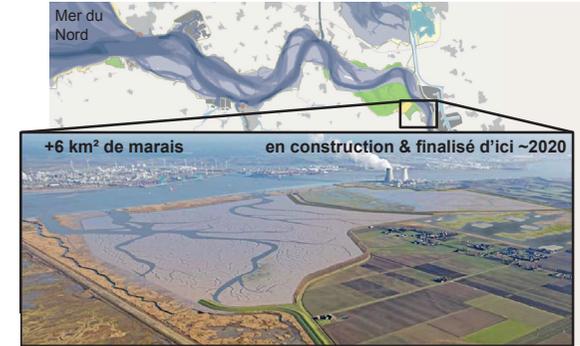
En vert, c'est la situation après la restauration des marais, d'ici 2030. On peut réaliser une diminution du niveau de l'eau de 60 à 80 centimètres sur environ 80 kilomètres le long de l'estuaire.

Un deuxième fait : les marais restaurés accumulent les sédiments, en équilibre avec la hausse du niveau marin. Sur la **diapo 26**, la ligne en grise représente le niveau à marée haute, l'évolution pendant les décennies passées.

En lignes noires, c'est le niveau du marais : le niveau du marais a augmenté à un taux plus rapide que l'augmentation du niveau de la mer à marée haute.

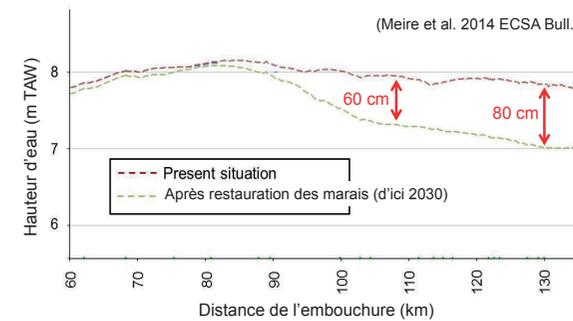
Le taux de sédimentation du marais est plus élevé que la hausse du niveau marin.

D'ici 2030: +40 km<sup>2</sup> de zones tampon & création de marais = SIGMAPLAN en Belgique (Flandre)



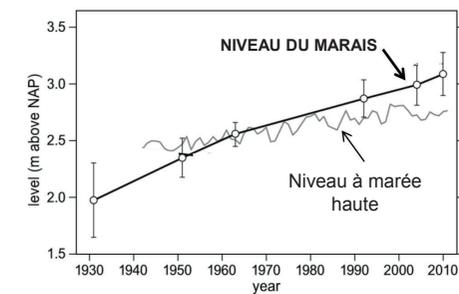
Diapo 24 > Projet SIGMAPLAN

Simulation d'une marée de tempête centennale: diminution de la hauteur d'eau de 60 à 80 cm par la présence des marais



Diapo 25 > Simulation d'une marée de tempête centennale

Les marais accumulent les sédiments en équilibre avec la hausse du niveau marin



(Elschot et al. 2017 PlosOne)

Diapo 26 > Les marais accumulent les sédiments

### III. CRÉER UNE RUPTURE DE DIGUE ≠ CRÉATION D'UN MARAIS GARANTIE : LIMITATIONS GÉOMORPHOLOGIQUES & COMMENT LES SURMONTER

#### Comment créer des marées dans des polders ?

Un troisième message clé est : comment peut-on créer des marées dans des polders ? Créer une rupture de digue ne suffit pas pour créer des marées et ce n'est pas la même chose que la création de marais.

Il y a des limitations géomorphologiques, et je vais montrer comment on peut les surmonter.

Cette présentation, **diapo 28**, est basée sur le travail de Lotte Oosterlee, pour sa thèse doctorale. Elle a comparé deux sites où on a changé le polder en marais.

Sur cette photo, c'est un site où il y a une sédimentation très rapide, et où aucun marais ne s'est développé six ans après les débuts du projet. Six ans après avoir rompu la digue, vous voyez qu'il y a seulement ce fort taux de sédimentation, mais il n'y a pas de présence de végétation.

Elle a comparé avec un autre site, où il y a un développement très rapide du marais. A droite c'est une image juste après la réintroduction des marées, **diapo 29** et l'image **diapo 30**, c'est après deux ans où on peut voir que la végétation typique du marais s'est développée très rapidement.

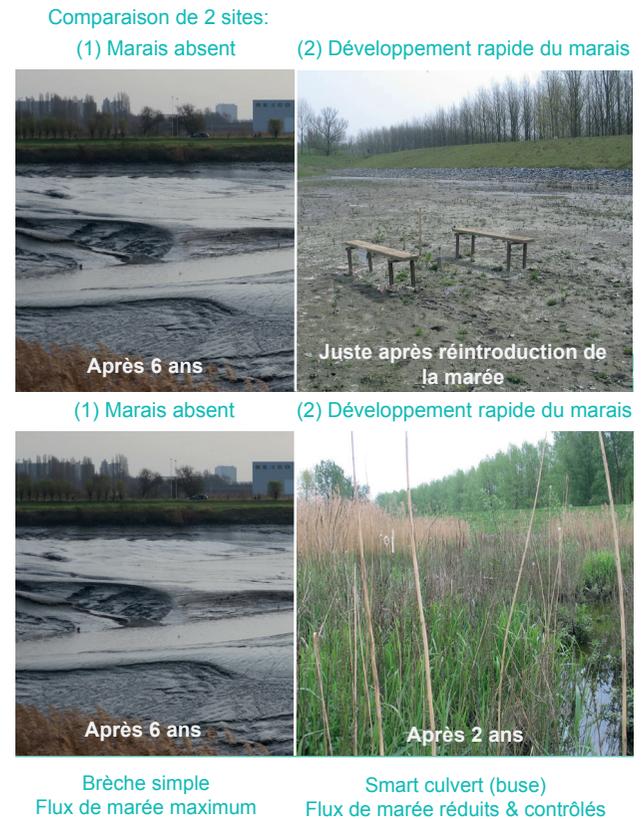
Donc, quelle est la différence entre les deux systèmes ?

A gauche, c'est une brèche simple dans la digue, afin de réaliser un flux de marée maximum.

A droite, on a un Smart Cover - je n'ai pas réussi à trouver le mot - je crois que c'est une buse en français. Le flux de marée s'est réduit et contrôlé. C'est illustré par l'image de droite ci-dessous.



Diapo 28 > Thèse doctorale de Lotte Oosterlee : Comparaison de 2 sites



Diapo 29 à 31 > Comparaison de 2 sites

Ici, **diapo 32 et 33**, c'est un projet très grand : 300 hectares de polders qui sont transformés en marais. On a construit une écluse qui réalise un échange réduit. Pendant la marée haute, de l'eau coule dans le polder, mais c'est un flux de marée réduit. Et pendant la marée basse, l'eau peut couler vers l'estuaire.

Alors ici - **diapos non disponibles à la diffusion** - on montre les fluctuations de la hauteur d'eau pour les deux systèmes. Pour le système brèche simple, c'est indiqué avec des courbes rouges qui montrent la fluctuation des marées.

Et ici, c'est la distribution d'élévation des marées qui existe dans l'estuaire, et ici la distribution de l'élévation du polder. Les polders sont situés plus bas que les marées. C'est pour ça que l'hydropériode et la fréquence d'inondations sont trop élevées, ce qui explique qu'il n'y ait pas d'établissement de marais après six ans.

Pour réaliser des marais dans des polders très bas, on a à faire à des écluses qui réalisent un flux de marée réduit. C'est indiqué avec la courbe noire. Et on peut voir maintenant, que l'hydropériode et la fréquence d'inondation adaptée est comparable dans le polder, et dans des marais naturels, dans l'estuaire.

Ensuite, on a essayé de développer un marais très rapidement dans le polder, en un ou deux ans.

Ce graphe, ici, montre les différences entre les taux de sédimentation. Il y a des taux de sédimentation très élevés, presque d'un mètre par an, dans le système de flux de marée maximum. Bien sûr, dans le système avec le flux de marée réduit, les taux de sédimentation sont plus bas : il est de quelques centimètres par an.

La concentration des sédiments en suspension. C'est entre 50 et 150 milligrammes par litre. Ce n'est pas très élevé, mais les taux de sédimentation sont très élevés. Ça peut aussi limiter le drainage du sédiment, et limiter le développement du marais.

Finalement, je veux vous montrer des résultats du plus grand projet de restauration de marais qui est en train de se réaliser, **diapo 34**. Il n'est pas encore réalisé, c'est prévu pour 2020.

Une question très importante : à quelle vitesse le développement de marais aura-t-il lieu ?

Pour ça, nous avons développé un nouveau modèle biogéomorphologique **diapo 35**, simulant le développement des marais tidaux. Ce n'est pas seulement un modèle qui inclut les processus hydrodynamiques et morphodynamiques, mais des processus dynamiques de la végétation.

C'est une simulation du polder - **diapos non disponibles à la diffusion** - , l'estuaire est ici. Ici c'est une nouvelle digue. Ici c'est l'ancienne digue qui est bréchée. La simulation montre l'évolution du paysage : l'évolution bathymétrique et l'évolution de la végétation.



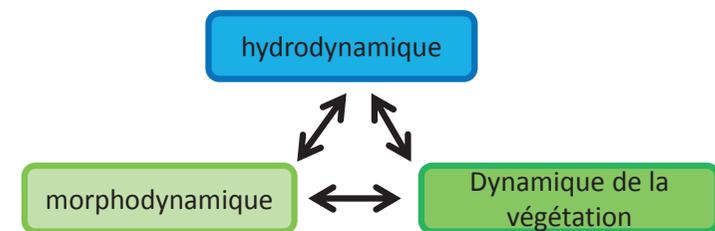
Diapo 32 à 33 > Flux de marée réduits

### Plus grand projet de restauration de marais A quelle vitesse le développement de marais aura-t-il lieu?



Diapo 34 > Flux de marée réduits

### Un nouveau modèle bio-géomorphologique simulant le développement des marais tidaux



Diapo 35 > Un nouveau modèle bio-géomorphologique

Je veux vous le montrer, parce que c'est une illustration qui démontre que ces projets sont très efficaces pour augmenter la hauteur du sol, en équilibre avec la hausse du niveau marin.

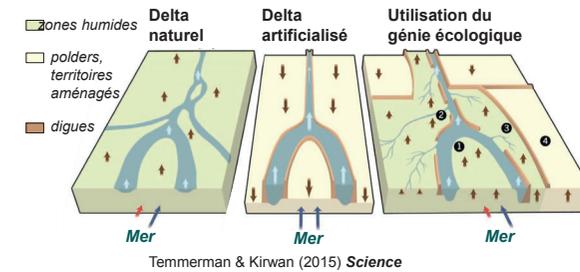
## MESSAGES CLÉS

Un résumé des messages clés avec ces schémas.

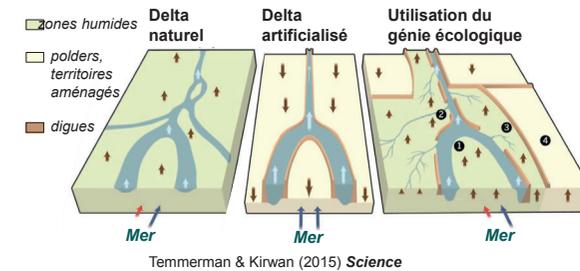
La poldérisation des marais historiques entraîne un effet pervers, des submersions, et on peut développer des défenses naturelles comme argument pour surmonter la résistance sociétale contre l'extension terrestre des marais.

Cependant créer une brèche sur une digue n'est pas une garantie pour la création de marais. Il y a des limitations éco-geomorphologiques, mais il y a aussi des raisons de surmonter ces limitations. Merci.

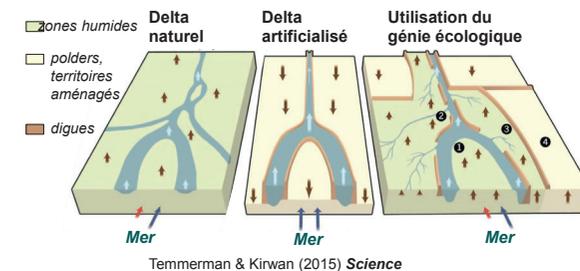
(1) La poldérisation des marais historiques entraîne un effet pervers des submersions



(2) Défenses naturelles comme argument pour surmonter la résistance sociétale contre l'extension terrestre des marais



(3) Créer une brèche sur une digue ne garantit pas nécessairement la création de marais : limitations éco-geomorphologiques & comment les surmonter



Diapo 37 à 39 > Messages clés