Restauration de mares temporaires méditerranéennes

Suivi de la végétation, hydrologie, colonisation des milieux restaurés par les odonates



RAPPORT FINAL*

*** un rapport supplémentaire concernant les odonates sera fourni fin 2016**

Sommaire

1. Préambule 3
2. Introduction 3
3. Volet Hydrologique – Positionnement et dimensionnement des mares à creuser 4
3.1. Critères de dimensionnement des mares 4
3.2. Méthodologie 4
3.2.1. Définition de l'année moyenne en terme de déficit hydrique 4
3.2.2. Modélisation hydrologique des mares 4
2.2.3. Modèles numériques de terrain (MNT) et maillages 5
3.3 Calculs réalisés pour le dimensionnement des différentes mares 5
3.4 Résultats des simulations 6
3.4.1. Mare du Clos des Vaches 6
3.4.2. Mare A5 8
3.4.3. Mare B5 10
3.4.4. Mare de Mas neuf est 12
3.4.5. Mare de Mas neuf ouest 14
3.5 Dimensionnement d'une mare sur le site de l'ancien salin du Relai 16
3.5.1. Dimensionnement initialement proposé par la Tour du Valat 16
3.5.2. Second dimensionnement réalisé suite à une demande des Amis des Marais du Vigueirat et du GPMM 19
4. Volet végétation 21
3.5 Dimensionnement d'une mare sur le site de l'ancien salin du Relai .... **Erreur ! Signet non défini.**
4.1 Matériel et méthode 21
3.5.1. Dimensionnement initialement proposé par la Tour du Valat 21
3.5.1.1 Mare « Clos des vaches » 21
5. Bibliographie 59
7. Annexes 30

1. Préambule

Rédacteurs du rapport : Olivier Boutron[1], Philippe Lambret[1], Nicole Yavercovski[1], Loïc Willm[1] & François Mesléard[1].

[1] Tour du Valat

2. Introduction

Ce rapport présente la synthèse des résultats du projet restauration de mares temporaires méditerranéennes mis en place en Camargue en réponse à un appel à projet du Ministère de l'environnement dans le cadre du programme « Stratégie Nationale pour la Biodiversité

Il constitue la synthèse finale des volets hydrologie, dynamique de la végétation et colonisation des mares restaurées par les odonates. Ce dernier volet donnera lieu à un rapport complémentaire par P. Lambret fin 2016.

L'ensemble des activités ont porté sur cinq mares, dont trois situées sur le domaine des marais du Vigueirat et deux sur le site de Mas neuf acquis par le Conservatoire du Littoral en 2005 et géré par le Parc Naturel Régional de Camargue. Ces activités avaient pour but :

- de fournir les éléments hydrologiques et topographiques permettant de choisir l'emplacement, la taille et la forme des mares en tenant compte des conditions nécessaires au bon fonctionnement d'une mare temporaire et à la colonisation par la végétation et les odonates, en particulier *L. macrostigma* ;
- d'étudier la contribution de la banque de graines à la dynamique de la végétation aux premiers stades de la recolonisation végétale ; il s'est agi notamment d'étudier la composition et l'abondance de la végétation (principalement au travers de la banque de graine) en fonction de la durée d'inondation (altitude relative) au sein de la mare l'altitude ;
- de rechercher spécifiquement la présence de *L. macrostigma* ainsi que des indices de reproduction (émergents, copula, ponte) ; par ailleurs, nous avons poursuivi l'analyse et publication de données acquises précédemment par la SfO dans la RNN des Marais du Vigueirat ainsi que celles nouvellement acquises dans le cadre de ce programme. Les lagunes méditerranéennes sont suivies depuis 2006 au titre de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) (Andral et Derolez, 2007 ; Andral et Orsoni, 2007 ; Andral *et al*., 2010a et 2010b Sargian *et al*., 2013a et 2013b). La DCE fixe un cadre pour l'évaluation de l'état des masses d'eau de transition, dont les lagunes méditerranéennes font partie (Directive Cadre sur l'Eau 2000/60/CE du 23 octobre 2000, transposée en droit français par la loi n°2004-338 du 21 avril 2004).

3. Volet Hydrologique – Positionnement et dimensionnement des mares à creuser

Une modélisation hydrologique a été mise en œuvre afin de dimensionner les mares à creuser sur les sites suivants:

- Clos des Vaches : une mare à creuser ;
- Friches rizicoles (Ligagneau) : 2 mares à creuser ;
- Mas neuf : 2 mares à creuser.

Outre le dimensionnement et le conseil pour les travaux à mettre en œuvre, ce travail de modélisation permet de prédire le comportement hydrologique des mares creusées, en fonction notamment des conditions météorologiques.

3.1. Critères de dimensionnement des mares

Les mares ont été dimensionnées pour répondre à l'objectif suivant : "pour une année de déficit hydrique moyen, estimée depuis 2005, la mare ne doit pas être en eau toute l'année". Le déficit hydrique est défini dans cette étude comme la différence entre la pluie annuelle cumulée et l'évaporation annuelle cumulée.

Concernant les géométries et les profondeurs des différentes mares, elles répondent aux demandes des différents spécialistes du projet : gestionnaires des sites, botanistes, odonatologues :

- accès facile aux mares creusées ;
- pente douce d'un côté de la mare et plus prononcée de l'autre ;
- profondeur de l'ordre de 80 cm (profondeur définie par rapport aux "berges" des mares).

3.2. Méthodologie

3.2.1. Définition de l'année moyenne en terme de déficit hydrique

Le déficit hydrique moyen a été déterminé sur la période 1er août d'une année au 1er août de l'année suivante pour les années 2005 à 2014.

Tableau 1. Déficit hydrique (pluie annuelle cumulée - évaporation annuelle cumulée) pour les années 2005 à 2014. L'évaporation est estimée par la méthode de Penman

Période	Déficit hydrique (mm)
Août 2005 - Août 2006	-992
Août 2006 - Août 2007	-1019
Août 2007 - Août 2008	-1063
Août 2008 - Août 2009	-743
Août 2009 - Août 2010	-628
Août 2010 - Août 2011	-933
Août 2011 - Août 2012	-981
Août 2012 - Août 2013	-962
Août 2013 - Août 2014	-907
Moyenne	**-914**
Écart-type	**132**

Sur ces 9 périodes, le déficit hydrique moyen est de -914 mm/an. La période la plus proche de cette valeur est celle d'août 2013 à août 2014, qui a donc été prise comme référence dans le dimensionnement des mares.

3.2.2. Modélisation hydrologique des mares

La modélisation hydrologique des mares a été réalisée sous le code de calcul spatialisé TELEMAC-2D (http://www.opentelemac.org/), qui résout les équations de Barré de Saint-Venant à deux dimensions d'espace horizontales. Ses résultats principaux sont, en chaque point du maillage de résolution, la hauteur d'eau et la vitesse moyenne sur la verticale. TELEMAC-2D est développé par le Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement (LNHE) de la Direction des Recherches et Développements d'EDF.
Le code TELEMAC-2D résout simultanément les trois équations suivantes :

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \vec{u}.\vec{\nabla}(h) + h\,div\left(\vec{u}\right) = S_h$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \vec{u}.\vec{\nabla}(u) = -g\frac{\partial Z}{\partial x} + S_x + \frac{1}{h}div\left(h\nu_t\vec{\nabla}u\right)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \vec{u}.\vec{\nabla}(v) = -g\frac{\partial Z}{\partial y} + S_y + \frac{1}{h}div\left(h\nu_t\vec{\nabla}v\right)$$

avec :

- h = la hauteur d'eau (m),
- u, v = les composantes de la vitesse (m/s),
- g = l'accélération de la pesanteur (m/s²),
- ν_t = coefficient de diffusion de la vitesse,
- Z = cote de la surface libre (m),
- t = temps (s),
- x,y = composantes d'espace horizontales (m),
- S_h = source ou puits de fluide (m/s),
- S_x, S_y = termes source ou puits des équations dynamiques (m/s²), termes représentant par exemple le vent ou le frottement sur le fond.

h, u, v et T sont les inconnues que TELEMAC 2D calcule à chaque pas de temps.
La description théorique complète de TELEMAC-2D est présentée dans l'ouvrage "Hydrodynamique des écoulements à surface libre - modélisation numérique avec la méthode des éléments finis", de Jean-Michel Hervouet (Presse des Ponts et Chaussées - 2003).

2.2.3. Modèles numériques de terrain (MNT) et maillages

Le code de calcul TELEMAC-2D effectue ses calculs sur un maillage non structuré (mailles triangulaires), sur lequel est interpolée la topographie du site. Ce type de maillage est particulièrement adapté aux sites étudiés car il permet d'adapter la taille des mailles de calcul aux éléments géométriques particuliers des différents sites (talus, fossés, "berges" des mares...). Pour chaque site d'implantation de mare, les maillages ont été réalisés avec le logiciel Blue Kenue[1].
Pour chaque site, la topographie a été mesurée grâce à un tachéomètre Sokkia (GLM Lasermeßtechnik GmbH) lors de plusieurs campagnes de terrain (Figure 1).

3.3 Calculs réalisés pour le dimensionnement des différentes mares

[1] http://www.nrccnrc.gc.ca/fra/solutions/consultatifs/blue_kenue_index.html

Pour les 5 mares, la topographie a été analysée pour identifier les zones d'accumulation de l'eau et les aires de drainage. Des pré-projets de mare ont ensuite été proposés et affinés par discussion avec les différents acteurs du projet. Un pré-projet final a été retenu pour les 5 sites. Pour chacun de ces pré-projets, un calcul hydrologique sur un cycle d'une année a été réalisé. Les caractéristiques de ce calcul sont les suivants :

- durée du calcul : 395 jours,
- Pluie, évaporation et vent utilisés : données du 1er août 2013 au 31 août 2014,
- conditions initiales : hauteur d'eau nulle sur l'ensemble du site.



Figure 1. Tachéomètre utilisé pour les campagnes de mesure de la topographie sur chacun des sites.

3.4 Résultats des simulations

3.4.1. Mare du Clos des Vaches

Le maillage et la topographie associée pour la mare du Clos de Vaches dimensionnée sont indiqués sur la Figure 2. La topographie est donnée dans une référence locale qui se situe au centre du site.

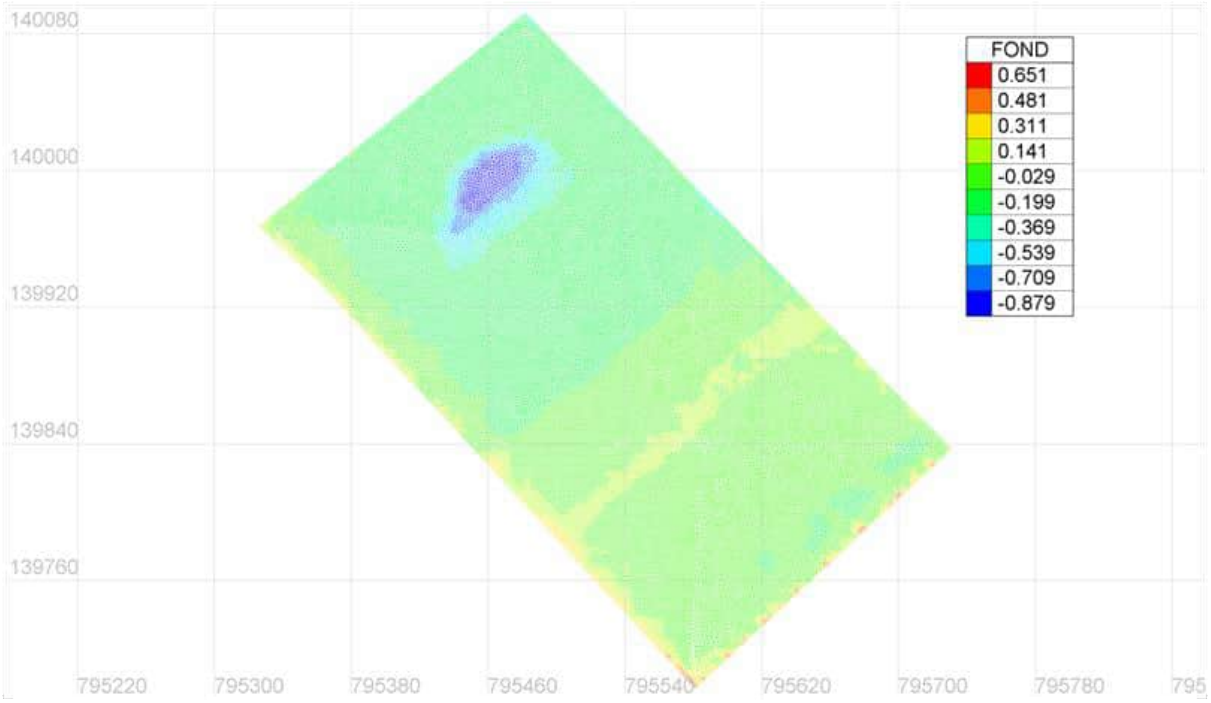


Figure 2. Maillage et topographie relative associée (m) du modèle du Clos des vaches.

Les hydropériodes ont été extraites des simulations pour différents points de la mare, comme indiqué sur la Figure 3 en pourcentage pour l'ensemble de la période [août 2013 - août 2014] et sur la Figure 4 en nombre de jours pour les périodes [août 2013 - août 2014] et [mars 2013 - juin 2014], ces 4 mois étant une période clé en terme d'hydrologie pour l'installation de la végétation.

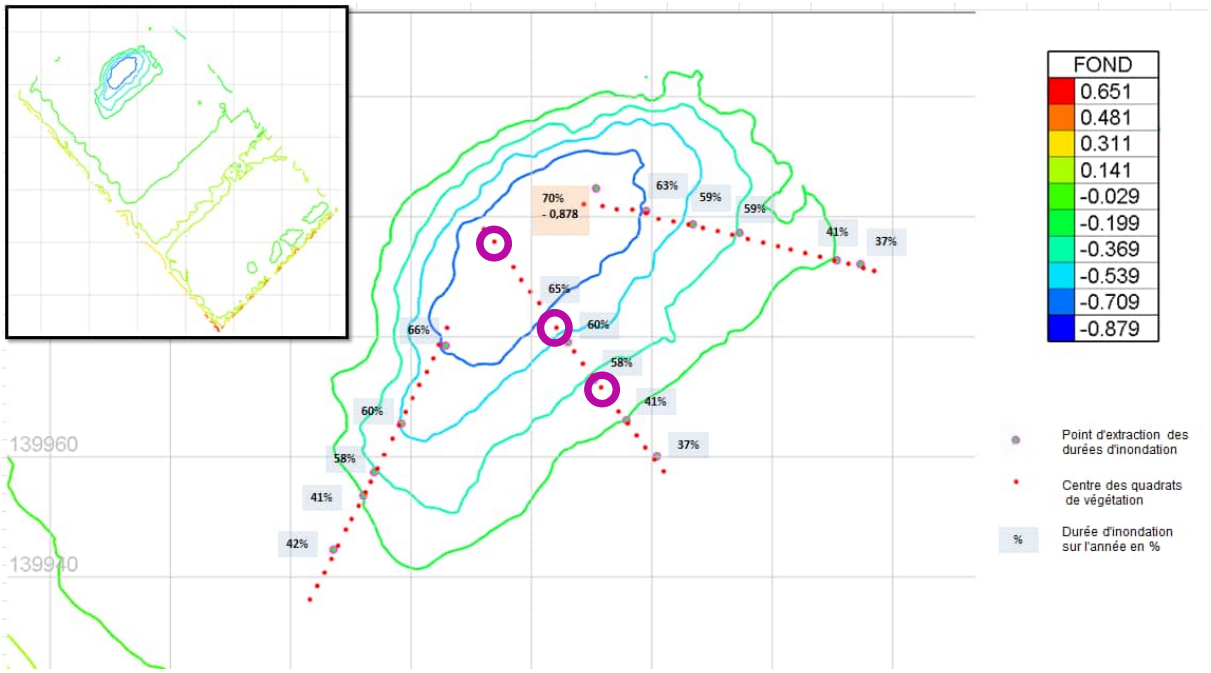


Figure 3. Durées d'inondations annuelles en plusieurs points de la mare du site Clos des Vaches. La durée d'inondation est exprimée en pourcentage de temps pendant lequel la hauteur d'eau est supérieure à 0 (période d'août 2013 à août 2014).

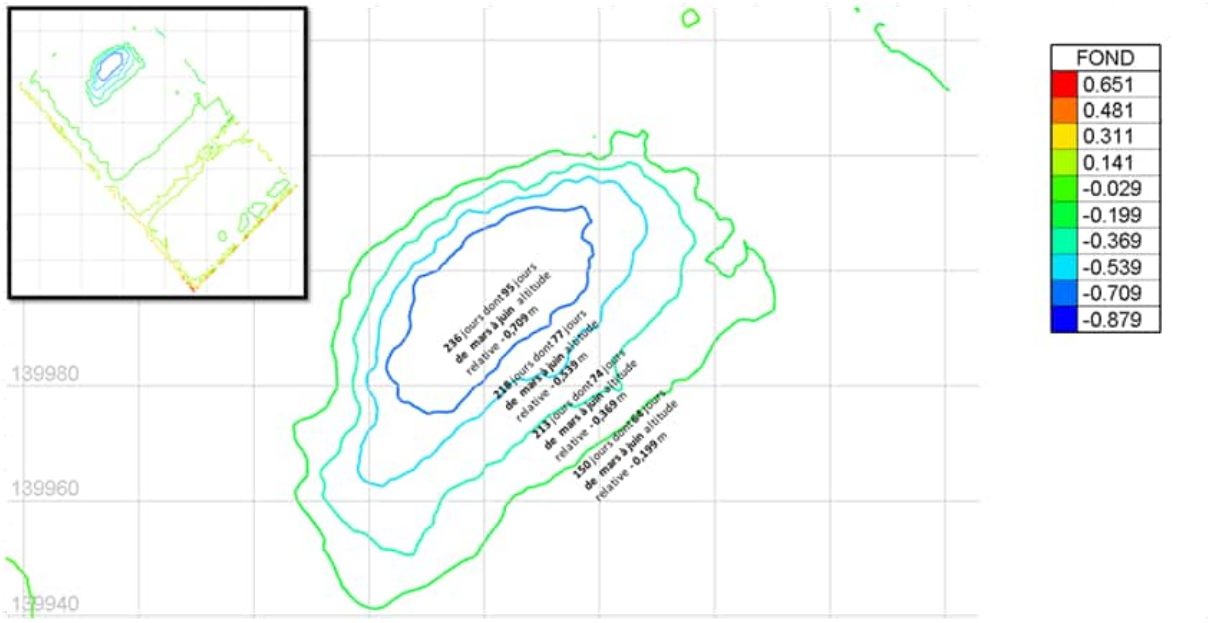


Figure 4. Durées d'inondations en plusieurs lignes de niveau de la mare du site Clos des Vaches. La durée d'inondation est ici exprimée en nombre de jours pendant lesquels la hauteur d'eau est supérieure à 0 pour la période [août 2013 - août 2014] d'une part, et pour la période [mars 2013 - Juin 2014] d'autre part. La topographie est donnée dans une référence locale qui se situe au centre du site.

Les variations de hauteurs d'eau pour trois localisations du site du Clos des Vaches, dans ou à proximité de la mare, sont indiquées sur la Figure 5.

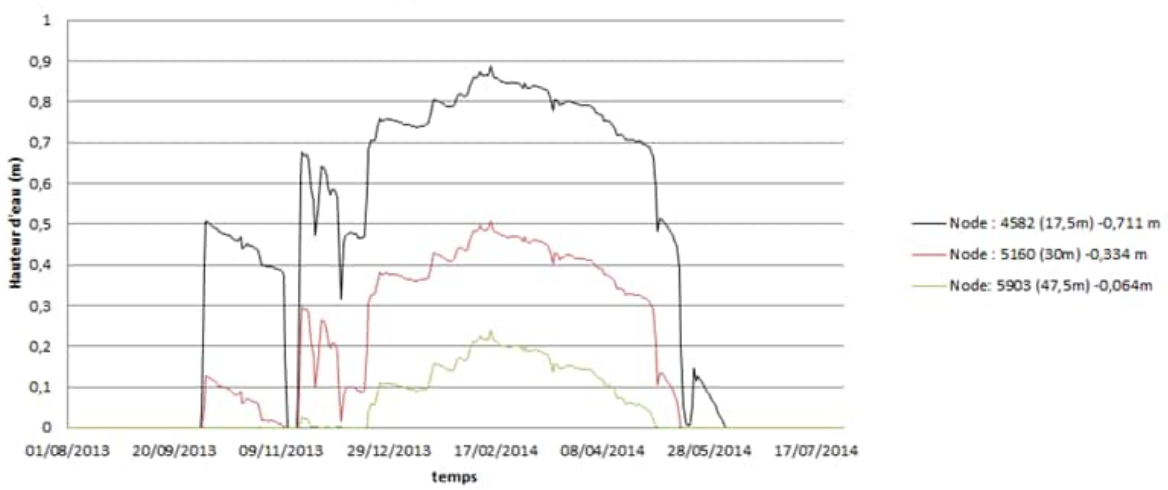


Figure 5. Variations de la hauteur d'eau pour trois localisations du transect central du site de la mare du Clos des Vaches (entourées en violet sur la Figure 3). Les distances (17,5 m, 30 m et 47,5 m) sont indiquées depuis le point du transect situé le plus au centre de la mare (période simulée : [août 2013 - août 2014].

3.4.2. Mare A5

Le maillage et la topographie associée pour la mare A5 dimensionnée sont indiqués sur la Figure 6. La topographie est donnée dans une référence locale qui se situe près de la mare.

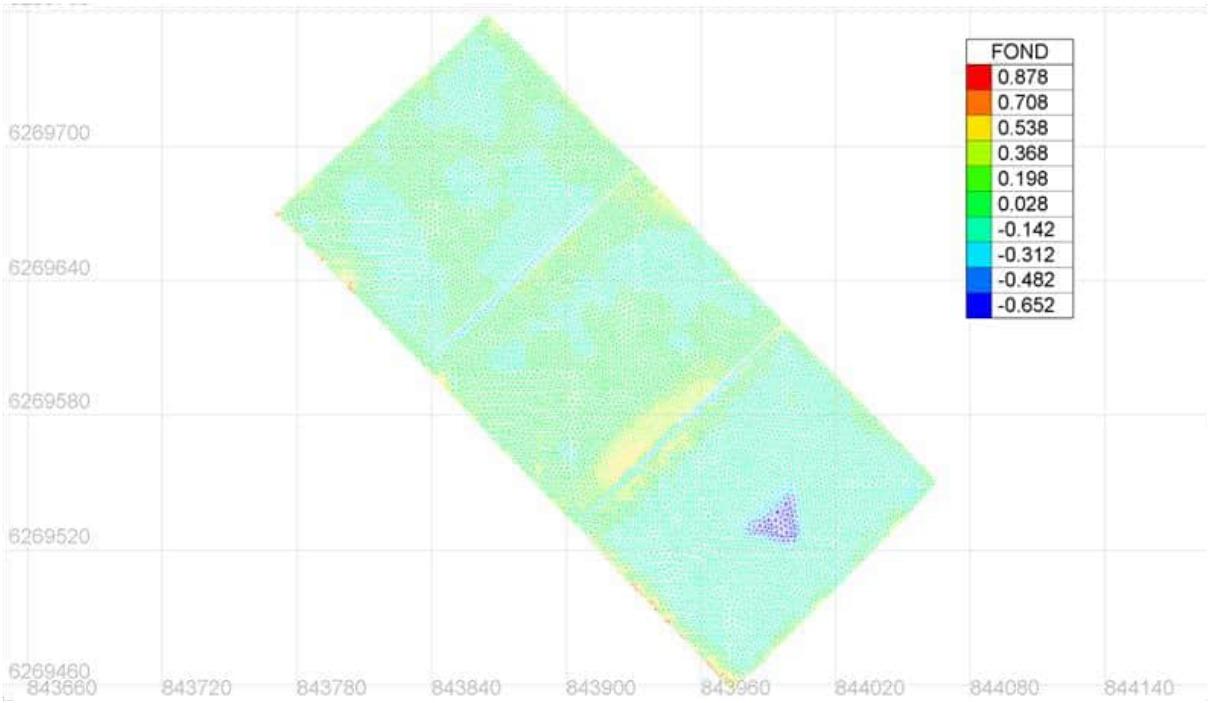


Figure 6. Maillage et topographie relative associée (m) du modèle pour la mare A5.

Les hydropériodes ont été extraites des simulations pour différents points de la mare, comme indiqué sur la Figure 7 en pourcentage pour l'ensemble de la période [août 2013 - août 2014] et sur la Figure 8 en nombre de jours pour les périodes [août 2013 - août 2014] et [mars 2013 - juin 2014].

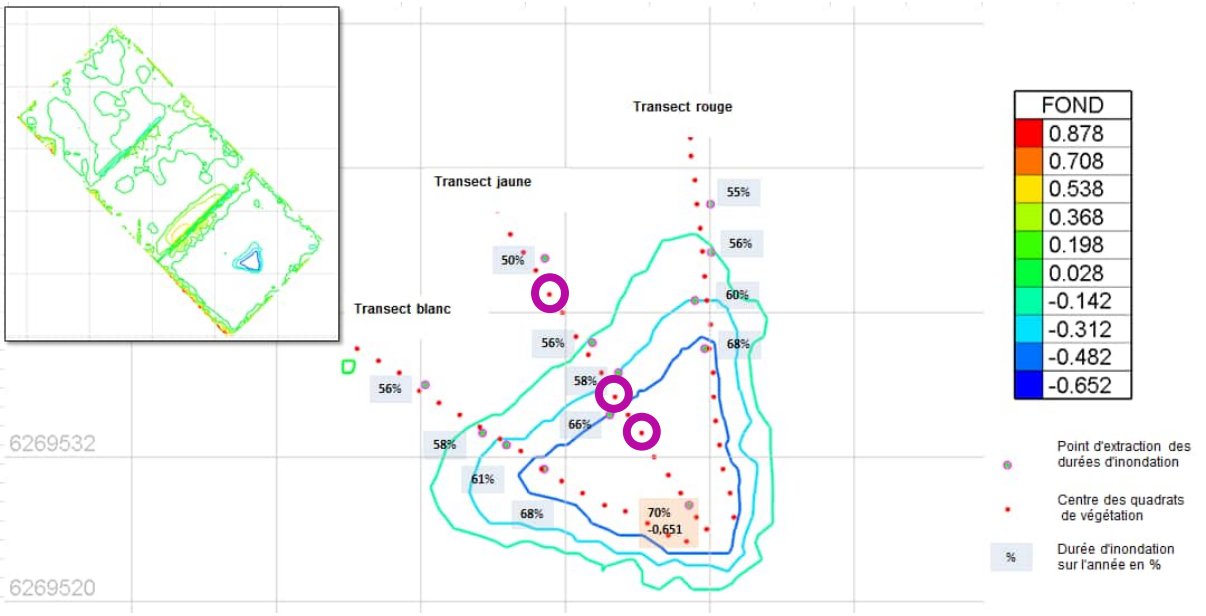


Figure 7. Durées d'inondations annuelles en plusieurs points de la mare A5. La durée d'inondation est exprimée en pourcentage de temps pendant lequel la hauteur d'eau est supérieure à 0 (période [août 2013 - août 2014]).

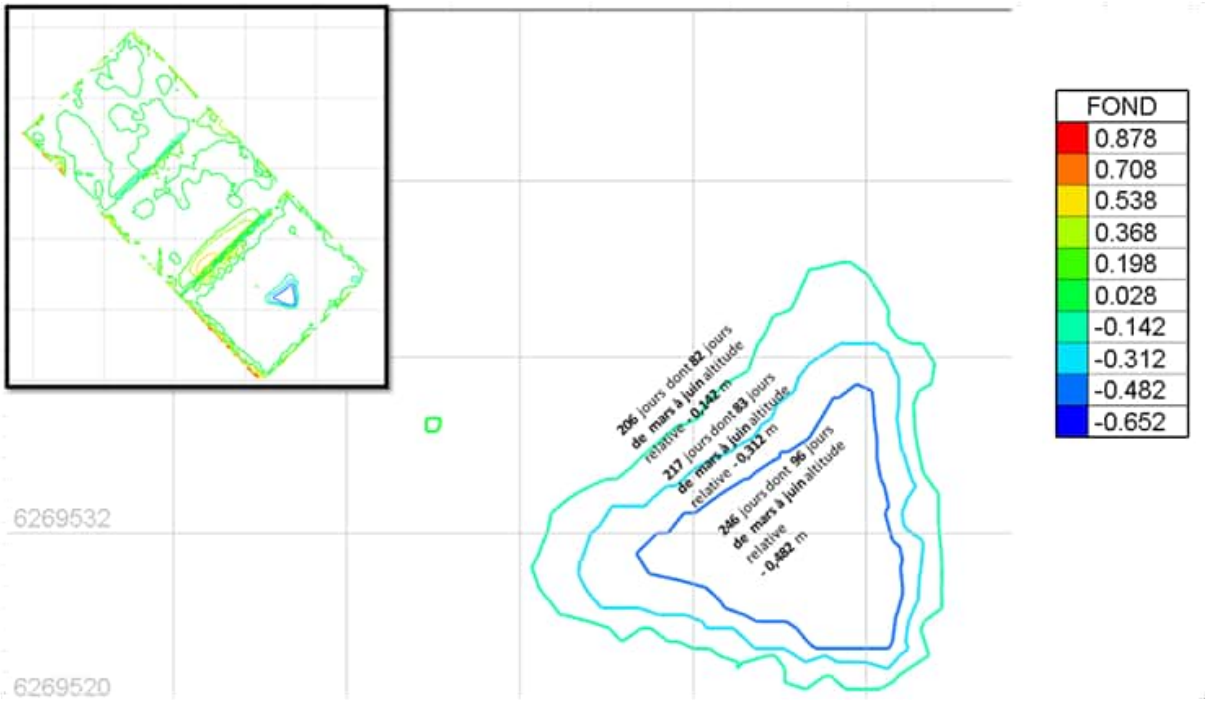


Figure 8. Durées d'inondations en plusieurs lignes de niveau de la mare A5. La durée d'inondation est ici exprimée en nombre de jours pendant lesquels la hauteur d'eau est supérieure à 0 pour la période [août 2013 - août 2014] d'une part, et pour la période [mars 2013 - juin 2014] d'autre part. La topographie est donnée dans une référence locale qui se situe au centre du site.

Les variations de hauteur d'eau pour trois localisations du site de la mare A5, dans ou à proximité de la mare, sont indiquées sur la Figure 9.

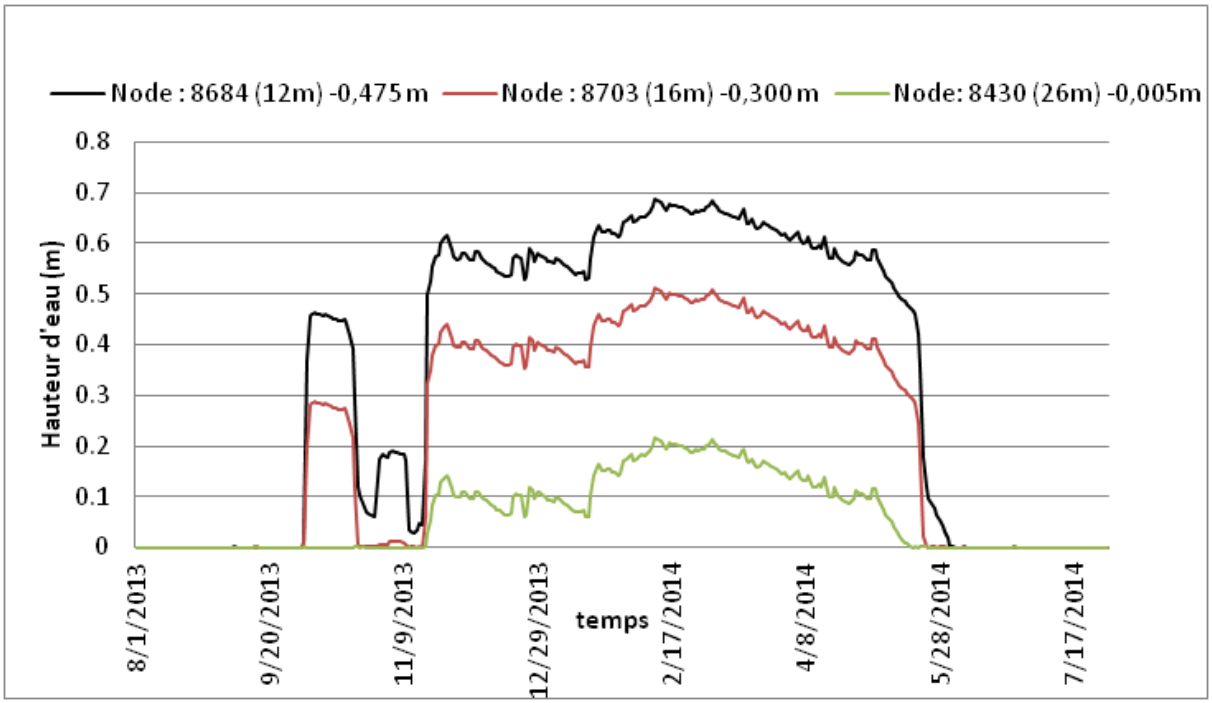


Figure 9. Variations de la hauteur d'eau pour trois localisations du transect central du site de la mare A5 (entourées en violet sur la Figure 7). Les distances (12 m, 16 m et 26 m) sont indiquées depuis le point du transect situé le plus au centre de la mare (période simulée: [août 2013 – août 2014]).

3.4.3. Mare B5

Le maillage et la topographie associée pour la mare B5 dimensionnée sont indiqués sur la Figure 10. La topographie est donnée dans une référence locale qui se situe au centre du site.

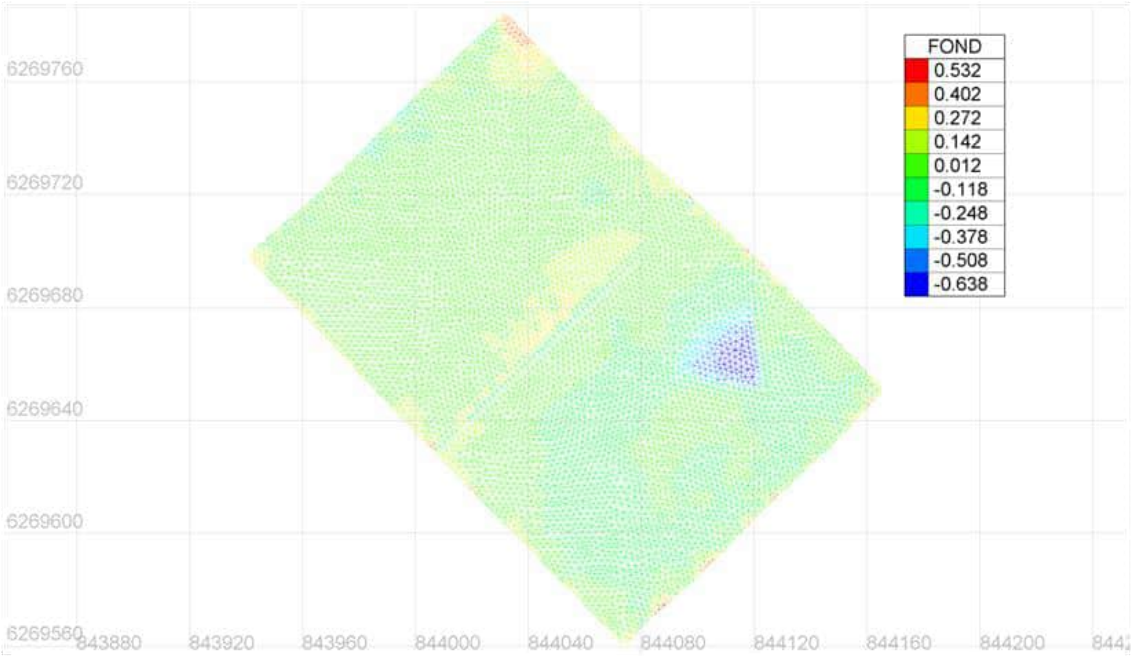


Figure 10. Maillage et topographie relative associée (m) du modèle pour la mare B5.

Les hydropériodes ont été extraites des simulations pour différents points de la mare, comme indiqué sur la Figure 11 en pourcentage pour l'ensemble de la période [août

2013 - août 2014] et Figure 12 en nombre de jours pour les périodes [août 2013 - août 2014] et [mars 2013 - juin 2014].

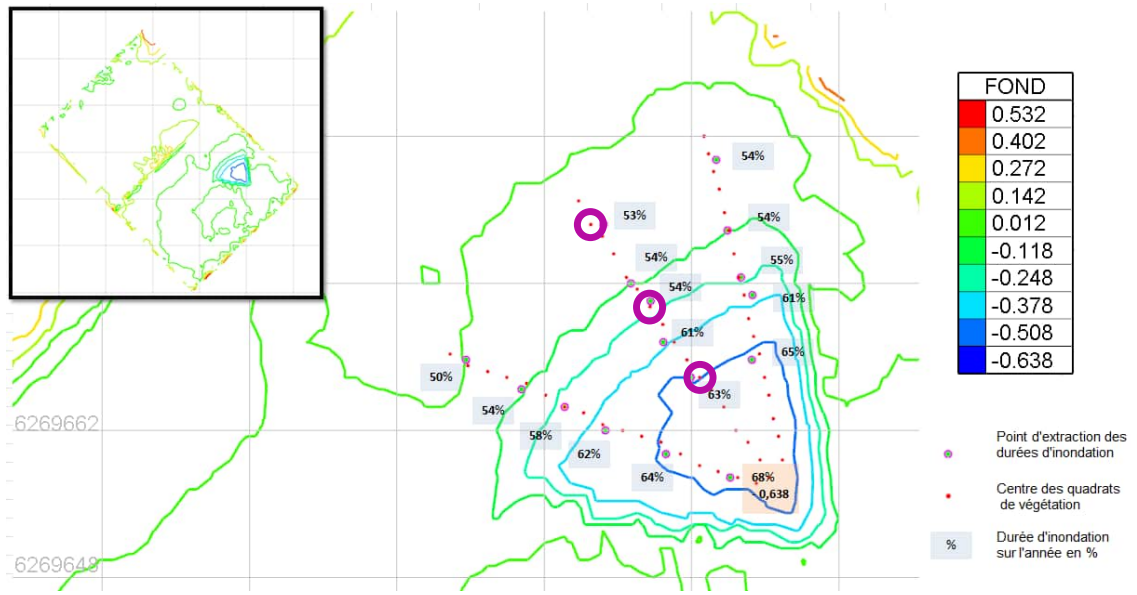


Figure 11. Durées d'inondations annuelles en plusieurs points de la mare B5.
La durée d'inondation est exprimée en pourcentage de temps pendant lequel la hauteur d'eau est supérieure à 0 (période simulée : [août 2013 – août 2014]).

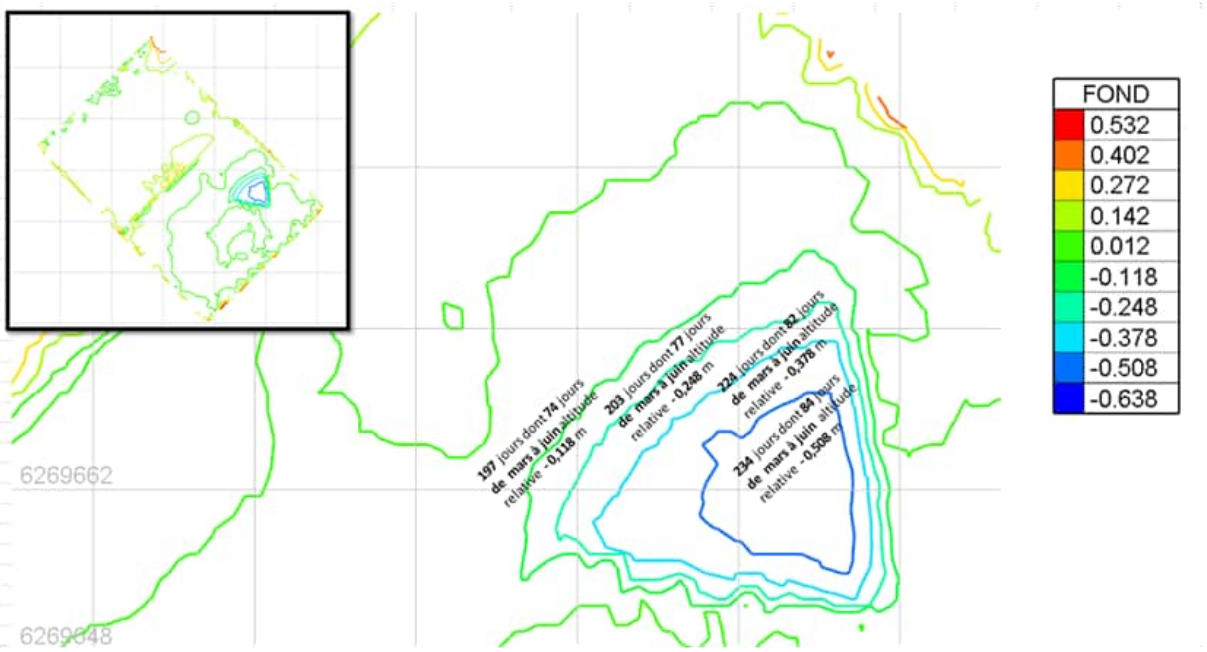


Figure 12. Durées d'inondations en plusieurs lignes de niveau de la mare B5. La durée d'inondation est ici exprimée en nombre de jours pendant lesquels la hauteur d'eau est supérieure à 0 pour la période [août 2013 – août 2014]), d'une part, et la période [mars 2013 - juin 2014], d'autre part. La topographie est donnée dans une référence locale qui se situe au centre du site.

Les variations de hauteurs d'eau pour trois localisations du site de la mare B5, dans ou à proximité de la mare, sont indiquées sur la Figure 13.

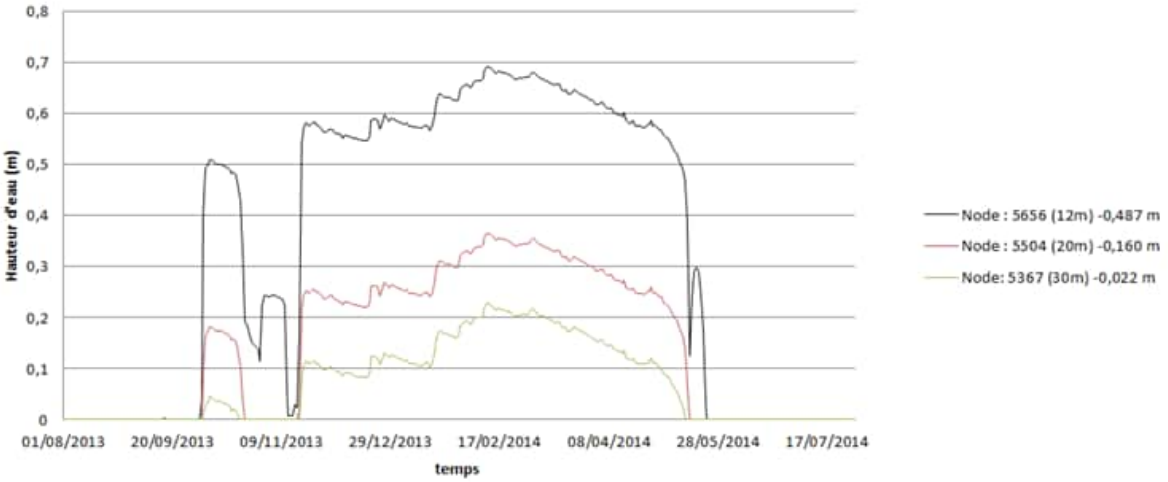


Figure 13. Variations de la hauteur d'eau pour trois localisations du transect central du site de la mare B5 (entourées en violet sur la Figure 11). Les distances (12 m, 20 m et 30 m) sont indiquées depuis le point du transect situé le plus au centre de la mare (période simulée : [août 2013 – août 2014]).

3.4.4. Mare de Mas neuf est

Le maillage et la topographie associée pour la mare de Mas neuf est dimensionnée sont indiqués sur la Figure 14. La topographie est donnée dans une référence locale qui se situe au centre du site.

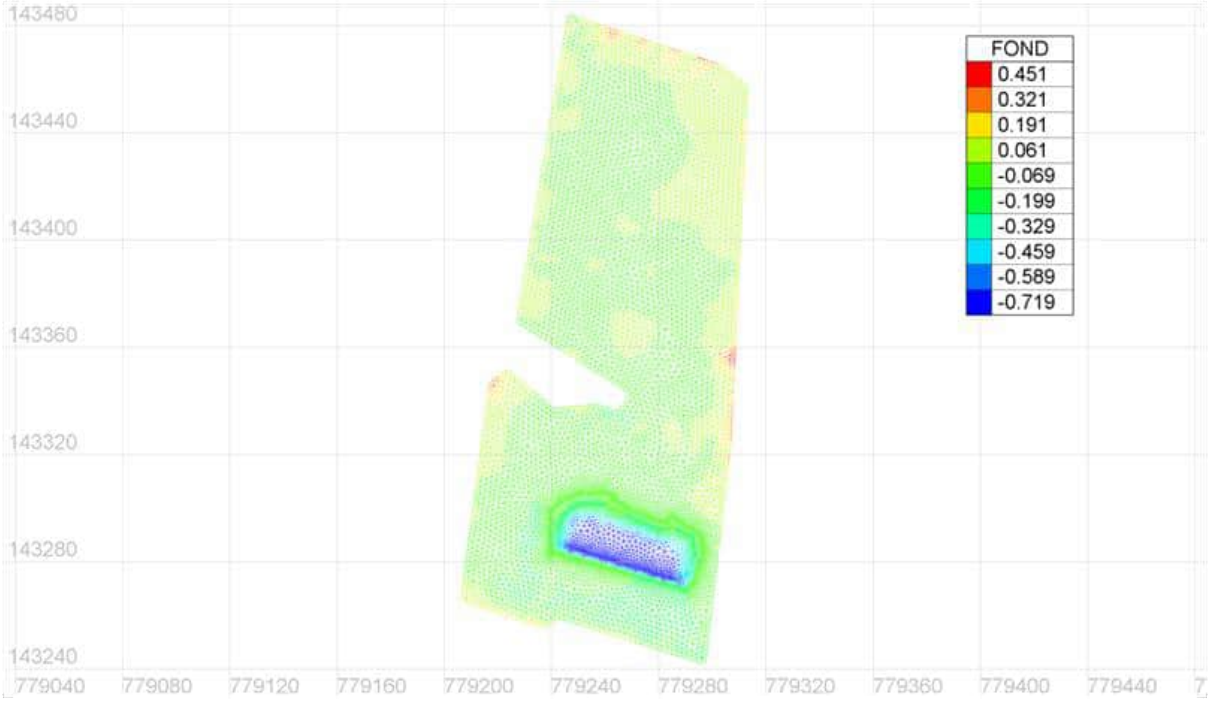


Figure 14. Maillage et topographie relative associée (m) du modèle pour la mare de Mas Neuf est.

Les hydropériodes ont été extraites des simulations pour différents points de la mare, comme indiqué Figure 15, en pourcentage pour l'ensemble de la période [août 2013 - août 2014], et Figure 16 en nombre de jours pour les périodes [août 2013 - août 2014] et [mars 2013 - juin 2014].

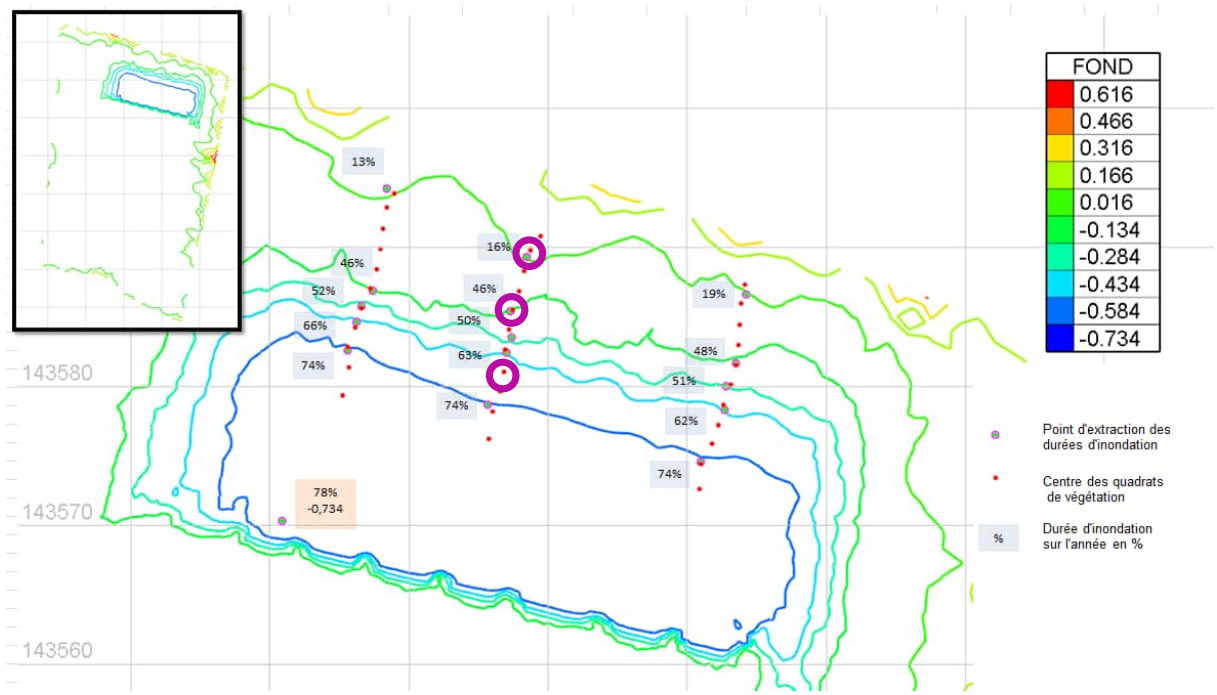


Figure 15. Durées d'inondations annuelles en plusieurs points de la mare de Mas neuf est. La durée d'inondation est exprimée en pourcentage de temps pendant lequel la hauteur d'eau est supérieure à 0 (période simulée : [août 2013 – août 2014]).

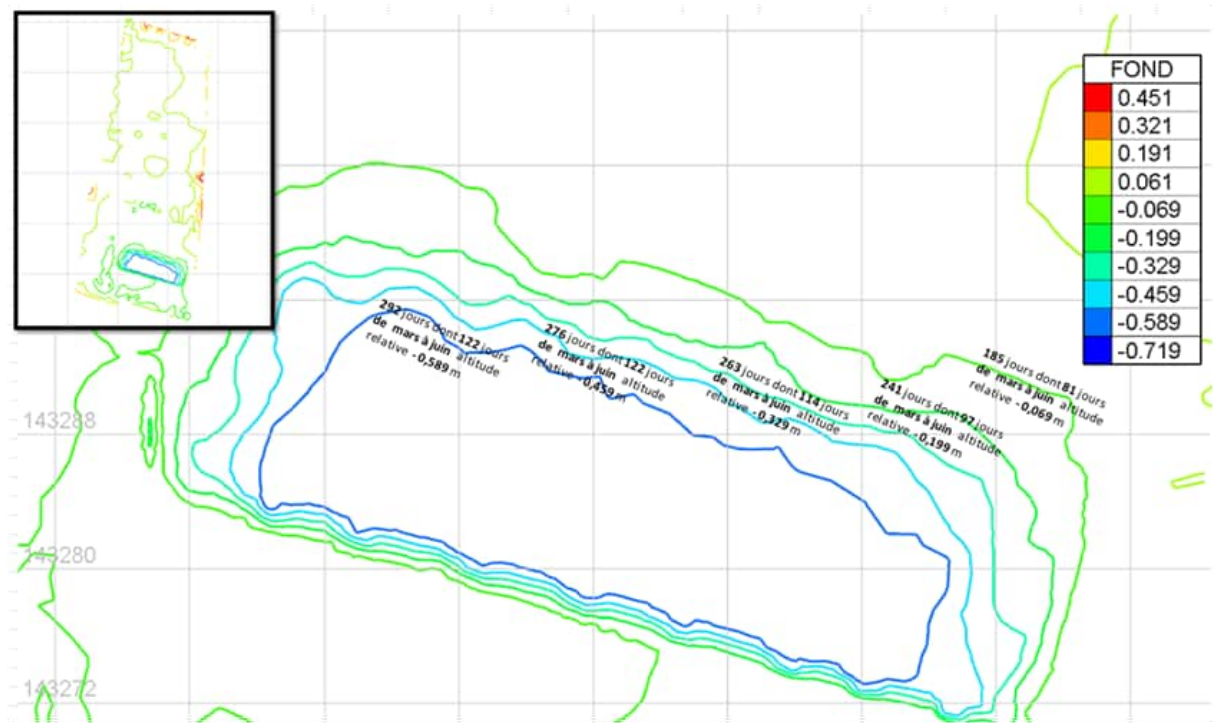


Figure 16. Durées d'inondations en plusieurs lignes de niveau de la mare de mas neuf est. La durée d'inondation est ici exprimée en nombre de jours pendant lesquels la hauteur d'eau est supérieure à 0 pour la période [août 2013 – août 2014] d'une part, et pour la période [mars 2013 - juin 2014], d'autre part. La topographie est donnée dans une référence locale qui se situe au centre du site.

Les variations de hauteurs d'eau pour trois localisations du site de la mare de Mas neuf est, dans ou à proximité de la mare, sont indiquées sur la Figure 17.

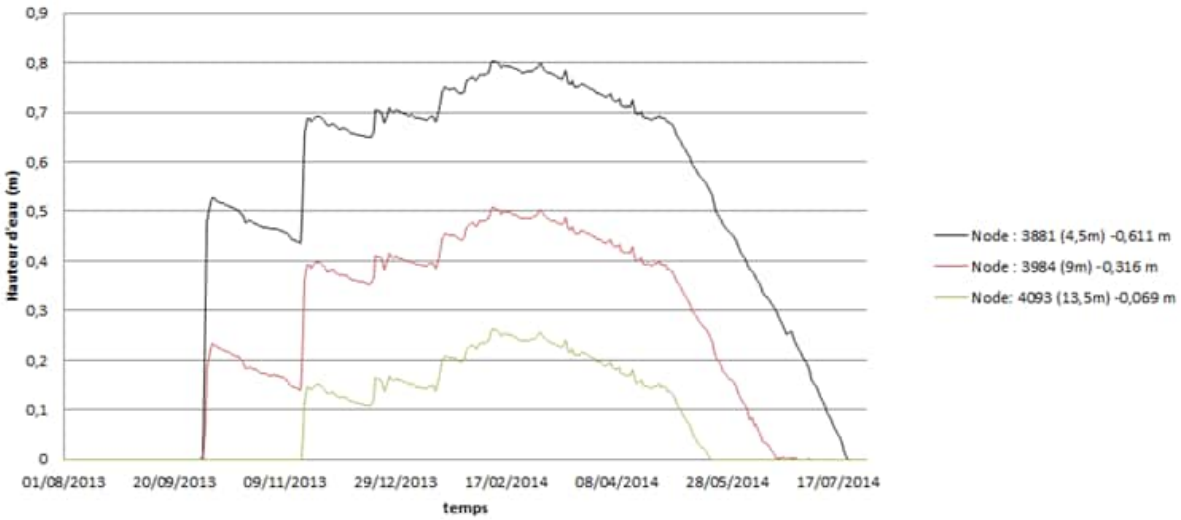


Figure 17. Variations de la hauteur d'eau pour trois localisations du transect central du site de la mare de Mas neuf est (entourées en violet sur la Figure 15). Les distances (4,5 m, 9 m et
13,5 m) sont indiquées depuis le point du transect situé le plus au centre de la mare (période simulée : [août 2013 – août 2014]).

3.4.5. Mare de Mas neuf ouest

Le maillage et la topographie associée pour la mare de Mas neuf ouest dimensionnée sont indiqués sur la Figure 18. La topographie est donnée dans une référence locale qui se situe au centre du site.

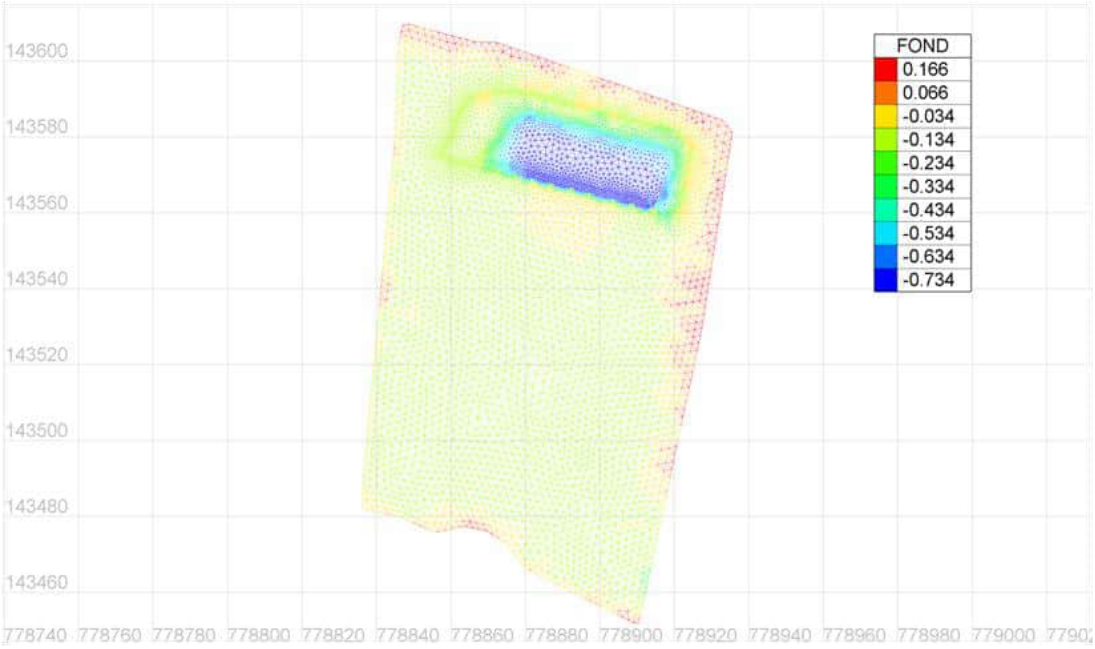


Figure 18. Maillage et topographie relative associée (m) du modèle pour la mare de Mas neuf ouest

Les hydropériodes ont été extraites des simulations pour différents points de la mare, comme indiqué Figure 19 en pourcentage pour l'ensemble de la période [août 2013 - août 2014], et Figure 20 en nombre de jours pour les périodes [août 2013 - août 2014] et [mars 2013 - juin 2014].

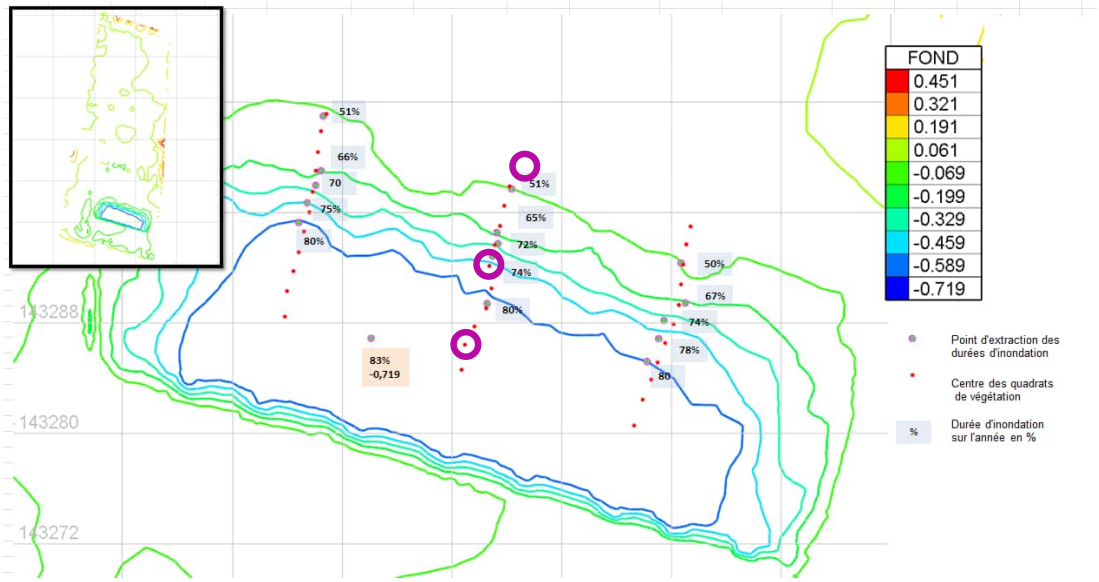


Figure 19. Durées d'inondations annuelles en plusieurs points de la mare de Mas neuf ouest. La durée d'inondation est exprimée en pourcentage de temps pendant lequel la hauteur d'eau est supérieure à 0 (période simulée : [août 2013 – août 2014]).

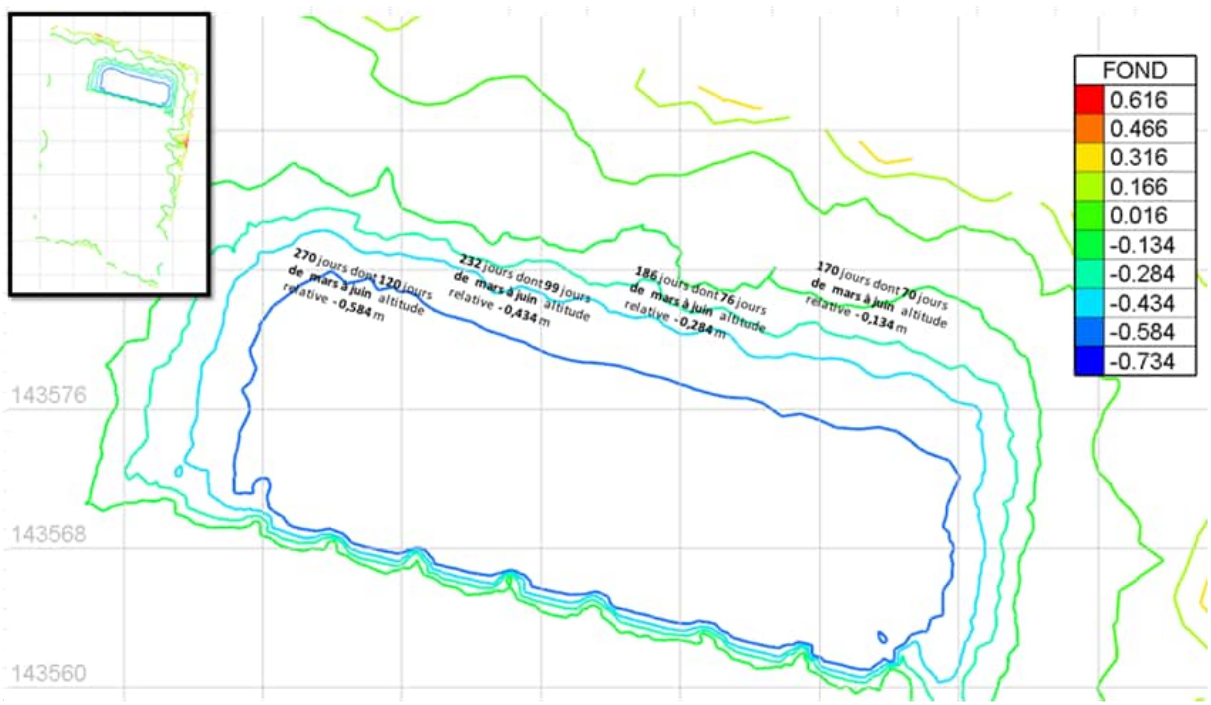


Figure 20. Durées d'inondations en plusieurs lignes de niveau de la mare de Mas neuf ouest. La durée d'inondation est ici exprimée en nombre de jours pendant lesquels la hauteur d'eau est supérieure à 0 pour la période [août 2013 – août 2014] d'une part, et pour la période [mars 2013 - juin 2014], d'autre part. La topographie est donnée dans une référence locale qui se situe au centre du site.

Les variations de hauteurs d'eau pour trois localisations du site de la mare de Mas neuf ouest, dans ou à proximité de la mare, sont indiquées sur la Figure 21.

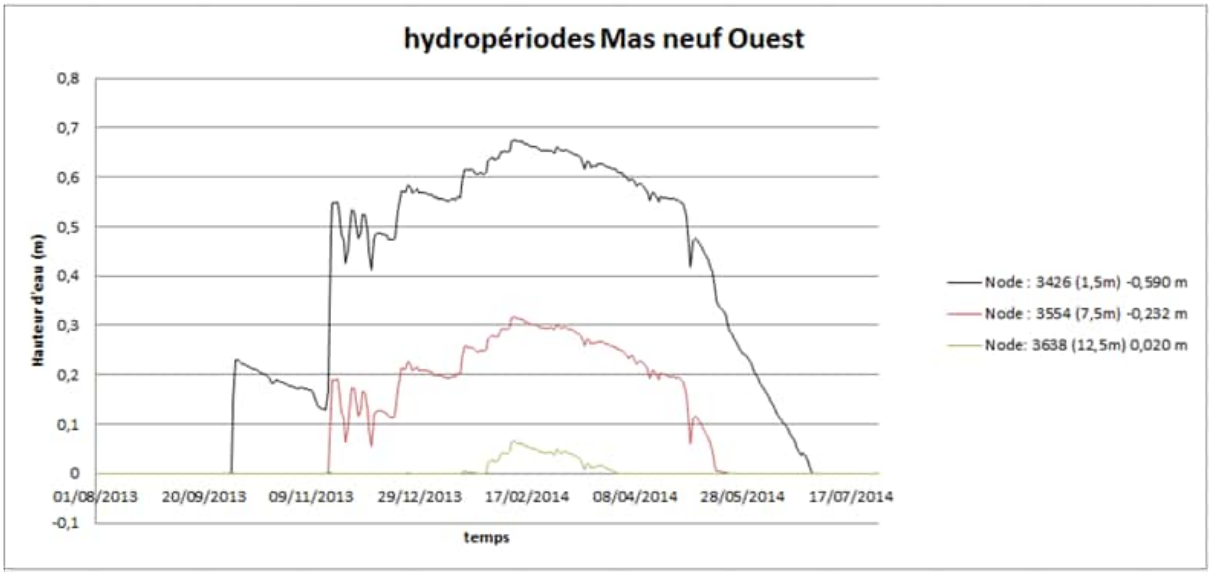


Figure 21. Variations de la hauteur d'eau pour trois localisations du transect central du site de la mare de Mas neuf ouest (entourées en violet sur la Figure 19). Les distances (1,5 m, 7,5 m et 12,5 m) sont indiquées depuis le point du transect situé le plus au centre de la mare (période simulée : [août 2013 – août 2014]).

3.5 Dimensionnement d'une mare sur le site de l'ancien salin du Relai

Au cours du projet, la possibilité de creuser une mare additionnelle sur l'ancien salin du Relai s'est présentée. Des modélisations hydrologiques ont donc été mises en œuvre pour dimensionner cette nouvelle mare, en suivant la même méthodologie que pour les 5 mares précédentes (Clos des Vaches, A5, B5, Mas neuf ouest et Mas neuf est).

3.5.1. Dimensionnement initialement proposé par la Tour du Valat

Un premier projet de mare, une fois validé par des simulations hydrologiques, a été proposé par la Tour du Valat. Ce projet a été défini en se basant sur les données de topographie de l'IGN. La Figure 22 indique certaines lignes de niveaux dérivées de ces données. Au vu de cette configuration topographie, la zone indiquée par une ellipse noire a été retenue pour creuser la mare.

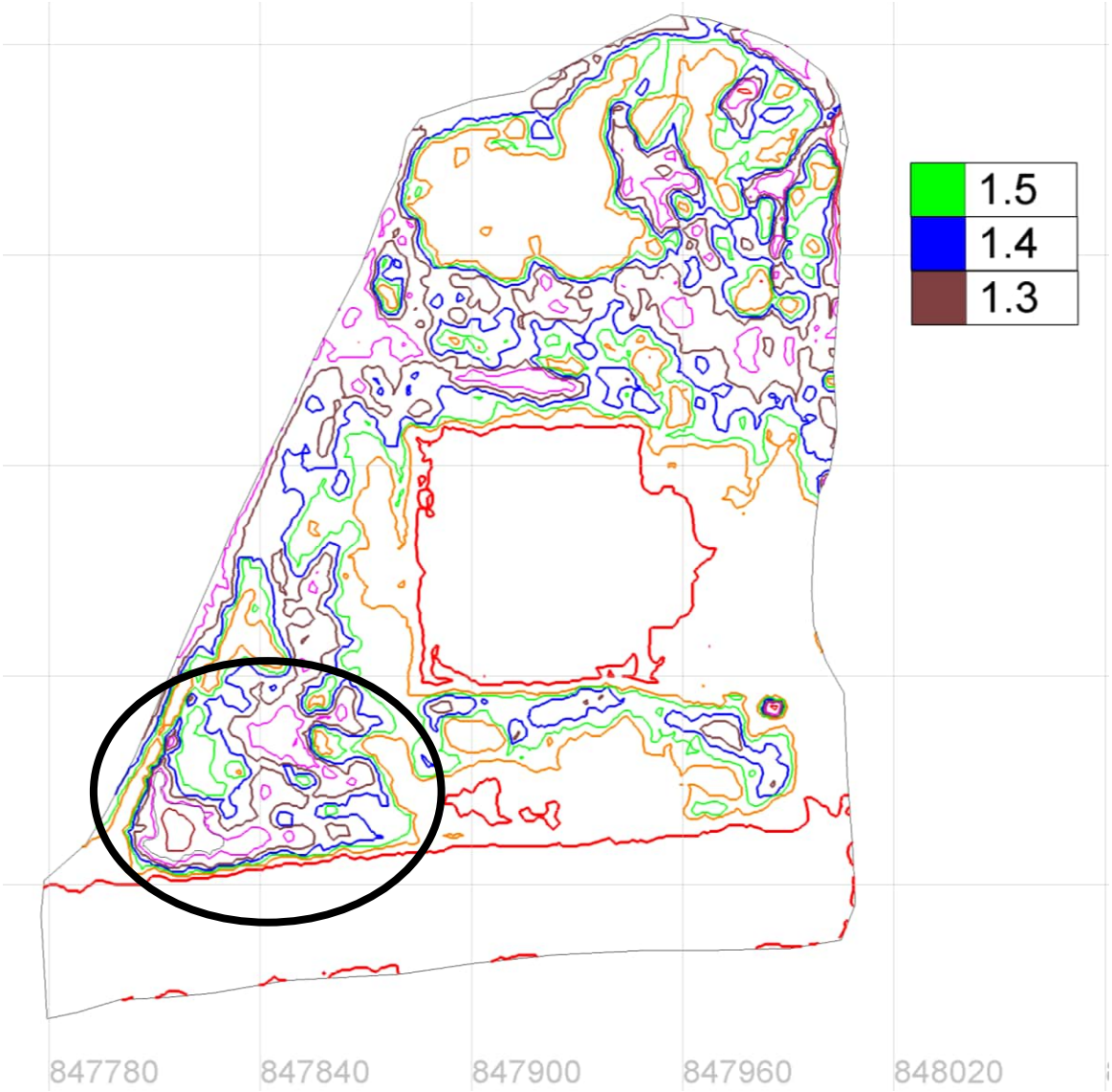


Figure 22. Lignes de niveaux dérivées des données topographique de l'IGN (mNGF).

La construction d'un talus a été proposée afin de limiter la taille du bassin versant et afin d'éviter que celui-ci ne draine trop d'eau possiblement polluée dans la zone qui se trouve à l'est du projet de mare et qui comporte des plantes d'intérêt patrimonial. Le projet proposé par la Tour du Valat est synthétisé sur la Figure 23.

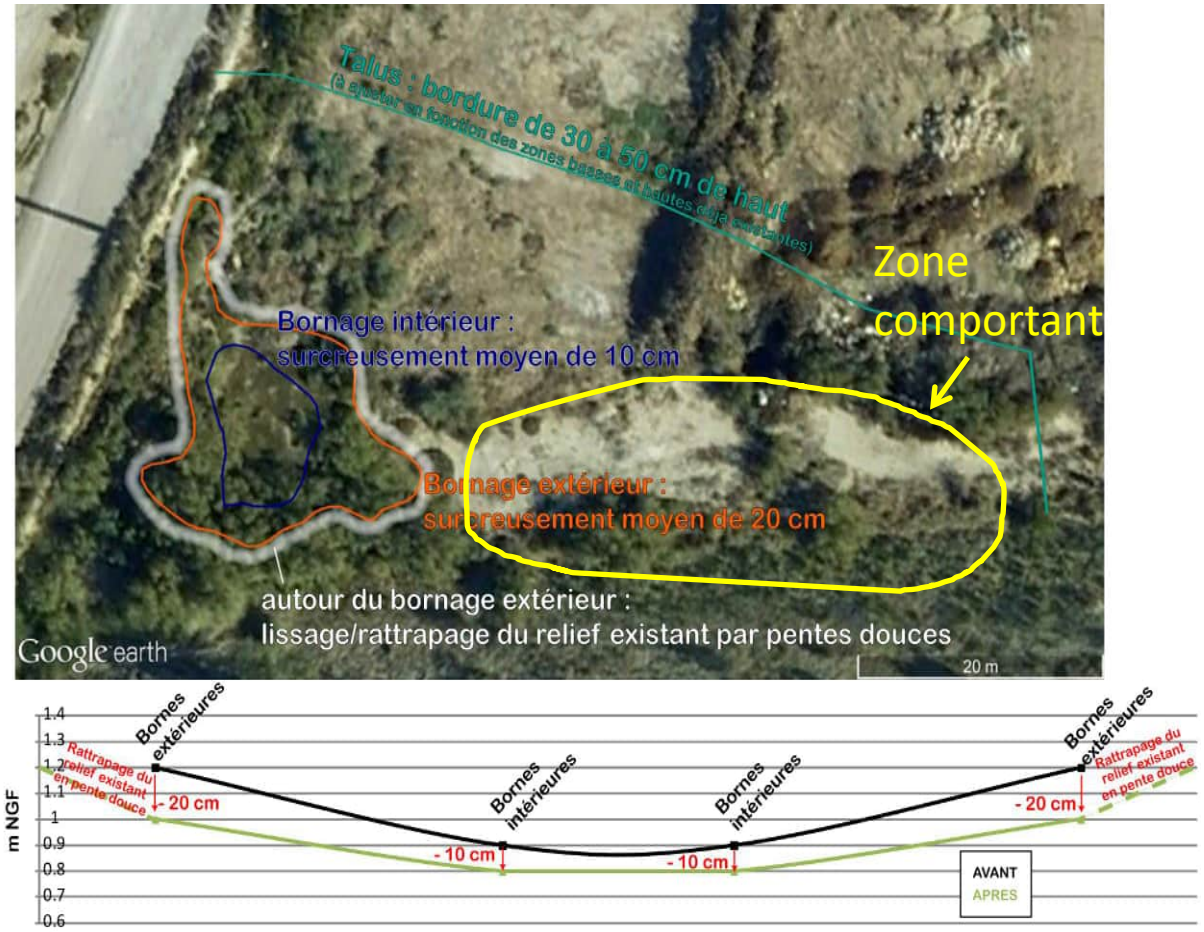


Figure 23. Synthèse du projet de mare proposé par la Tour du Valat sur le site de l'ancien salin du Relai.

Pour ce premier projet, le maillage et la topographie associée sont indiqués sur la Figure 24.



Figure 24. Maillage et topographie relative (m NGF) du modèle pour la mare proposée par la Tour du Valat dans l'ancien salin du Relai.

Des simulations ont été faite sur le mêmes critères que pour les 5 mares du Clos des Vaches, A5, B5, Mas neuf ouest et Mas neuf est. Les caractéristiques de ce calcul sont les suivants :

- durée du calcul : 395 jours,
- pluie, évaporation et vent utilisés : données du 1er août 2013 au 31 août 2014,
- conditions initiales : hauteur d'eau nulle sur l'ensemble du site.

Les résultats en termes de hauteur d'eau sont indiqués sur la Figure 25.

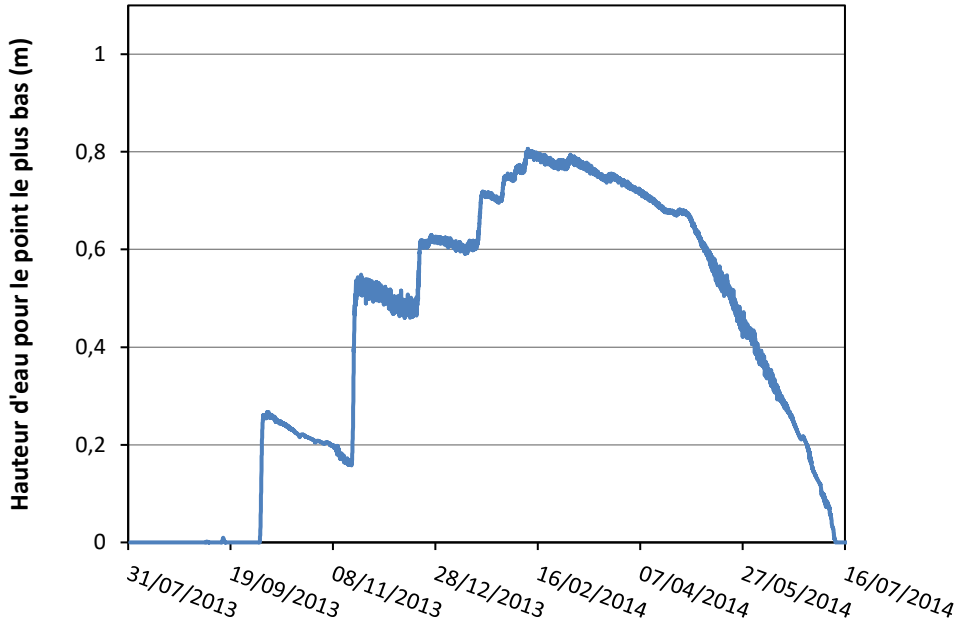


Figure 25. Hauteur d'eau simulée pour le premier projet proposé par la Tour du Valat pour la mare de l'ancien salin du Relai.

3.5.2. Second dimensionnement réalisé suite à une demande des Amis des Marais du Vigueirat et du GPMM

Suite à la présentation du dimensionnement de mare présenté ci-dessus (partie 2.6.1), un nouveau cahier des charges a été demandé par le GPMM et les Amis des Marais du Vigueirat, nécessitant de reprendre l'intégralité de l'étude préliminaire réalisée par la Tour du Valat. Concernant la mare de l'ancien salin du Relai, le cahier des charges additionnel exprimé par le GPMM et les Amis des Marais du Vigueirat est indiqué sur la Figure 26.

En jaune : Bassin Versant ciblé avec remodelage intégral de la topographie. Cahier des charges demandé par le GPMM et les Amis des Marais du Vigueirat :
1/ Que les eaux de ce bassin versant délimité en jaune s'écoulent dans la mare qui va être creusée (en vert)
2/ Que la mare soit temporaire pour une année moyenne en terme de déficit hydrique (i.e pluie annuelle cumulée moins évaporation annuelle cumulée).



Figure 26. Cahier des charges additionnel demandé par le GPMM et les Amis des Marais du Vigueirat pour la mare de l'ancien salin du Relai.

Un nouveau modèle hydrologique et de nouvelles simulations ont donc été réalisés par la Tour du Valat. Pour ce cahier des charges additionnel, le maillage et la topographie associée sont indiqués sur la Figure 27.

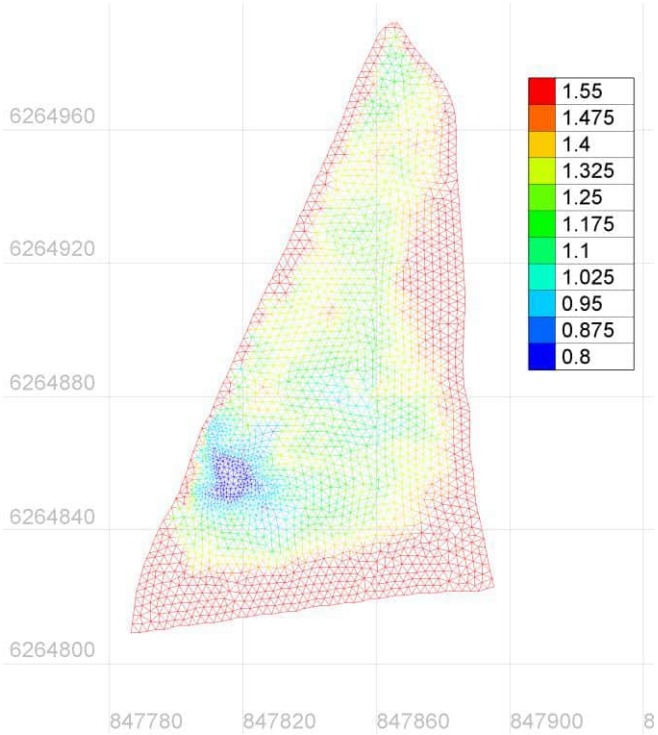


Figure 27. Maillage et topographie relative (m NGF) du modèle pour la mare pour répondre au cahier des charges additionnelles des Amis des Marais du Vigueirat et du GPMM.

Les résultats en termes de hauteur d'eau pour ce nouveau projet sont indiqués sur la Figure 28.

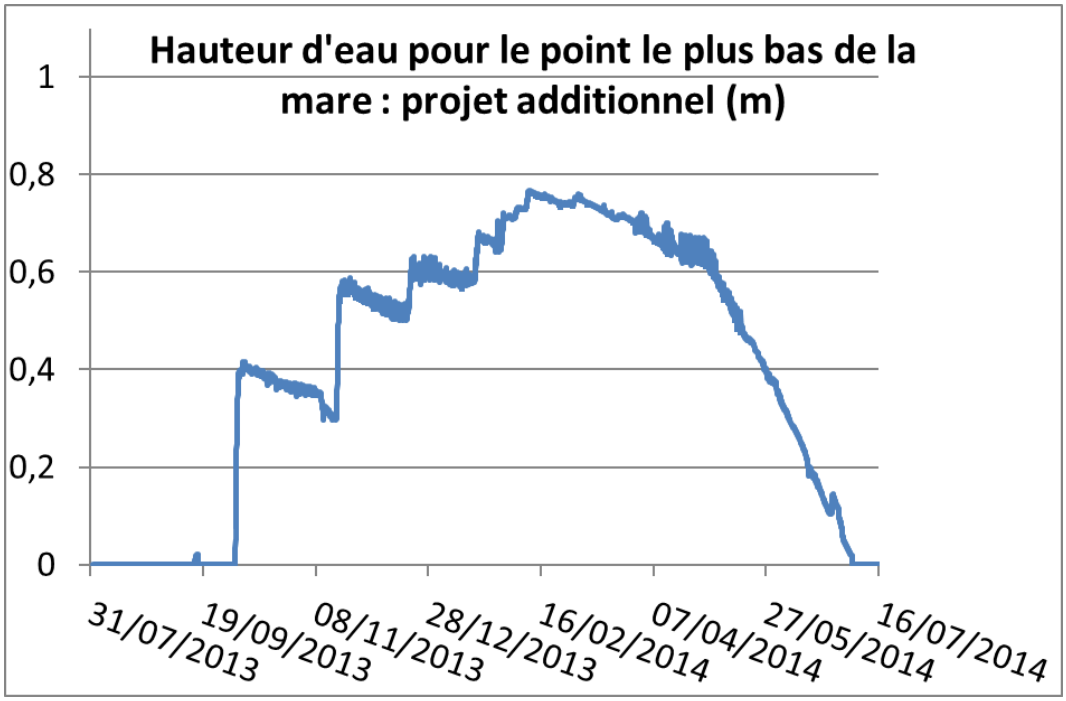


Figure 28. Hauteur d'eau simulée pour le projet additionnel de dimensionnement.

4. Volet végétation

Le volet végétation s'appuie sur deux types de suivi: l'étude de la banque de graines et le suivi de la végétation

4.1 Matériel et méthode

4.1.1. Description des mares

4.1.1.1 Mare « Clos des vaches »

La mare du Clos des vaches (Fig. 29 à 31), située sur le domaine de l'Étourneau (Réserve Naturelle Nationale des Marais du Vigueirat), a été creusée à l'automne 2014. Sa profondeur moyenne est de 77 cm et sa superficie de 0,5 ha. Le sol est constitué de limons argilo-sableux.
La parcelle où se situe la mare est couverte dans les parties basses d'une végétation halophile, la sansouire, caractérisée par des salicornes vivaces (Salicorne buissonnante *Salicornia fruticosa*), des salicornes et soudes annuelles (Salicorne étalée *Salicornia patula,* Soude maritime *Suaeda maritima*) et la Saladelle de Narbonne (*Limonium narbonense*) ; elle est couverte dans les parties plus haute d'une végétation moins halophile de prés salé annuel caractérisée par l'Orge maritime (*Hordeum marinum*) et le Lepture filiforme (*Parapholis filiformis*), puis plus haut encore d'une végétation de prés salé vivace à Trèfle faux fraisier (*Trifolium fragiferum*), Dorycnie herbacée (*Lotus herbaceus*) et Chiendent dactyle (*Cynodon dactylon*).



Figure 29. Clos des vaches avant creusement de la mare.



Figure 30. Mare du Clos des vaches en eau.



Figure 31. Vue aérienne de la mare en période exondée.

4.1.1.2 Mares « A5 » et « B5 »

De forme triangulaire, elles ont été creusées au cours de l'été 2013 sur des friches rizicoles (Ligagneau) dans la Réserve Naturelle Nationale des Marais du Vigueirat (Fig. 32). Elles occupent respectivement des superficies de 0,09 et 0,1 ha et ont 74 et 64 cm de profondeur moyenne. La végétation des parcelles est majoritairement constituée de prés salés où dominent l'Aelurrope du littoral *Aeluropus littoralis* et divers joncs (Jonc piquant *Juncus acutus*, Jonc en alène *J. subulatus*, Jonc maritime *J. maritimus* et Jonc de Gérard *J. gerardi*) ainsi qu'un cortège de petites annuelles halophiles.



Figure 32. Mare A5 en eau.

4.1.1.3 Mares « Mas neuf Est » et « Mas neuf Ouest »

Les mares de Mas neuf Est et Ouest (Fig. 33 à 35) sont situées au nord de l'Étang du Vaccarès dans un site protégé de 149 ha et ont été creusées en automne 2014. Elles occupent chacune une surface de 0,15 ha, et ont respectivement 72 et 66 cm de profondeur moyenne. Ce site comprend deux zones, l'une naturelle et l'autre cultivée (riziculture). Sur la partie naturelle, où ont été creusées les mares, subsistent des traces d'anciens canaux d'irrigation. Y dominent des sansouires à salicornes pérennes (Grande salicorne *Arthrocnemum macrostachyum*, Salicorne buissonnante *Salicornia fructicosa*, Salicorne radicante *Salicornia perennis*) avec quelques bosquets de tamaris (*Tamarix gallica*), des linéaires de prés salés sur les pentes des talus et de roselières au bord des canaux. La zone naturelle est actuellement pâturée par des chevaux de race Camargue.



Figure 33. Mares de Mas neuf Ouest (à gauche) et Est (à droite) en eau.



Figure 34. Sansouire sur le site de Mas neuf Est et Ouest.



Figure 35. Vestiges d'aménagements hydrauliques.

4.1.2. Etude de la banque de graine

Pour l'ensemble des mares, les prélèvements de sédiments ont été effectués à intervalle régulier le long de trois transects bornés sur chaque mare du centre à la périphérie, également utilisés pour le suivi de la végétation.

- Mares A5 et B5 (creusées en été 2013) : les banques de graines ont été prélevées en mai 2014 après le creusement des mares et après un cycle complet d'inondation, tous les quatre mètres le long de trois transects de 32 m de longueur.
- Mare du Clos des vaches (creusée en été 2014) : les prélèvements ont été effectués en août 2014 tous les 5 mètres le long de 3 transects de 50 m de longueur, avant le premier cycle d'inondation (Fig. 36).
- Mares de Mas neuf (creusées à l'automne 2014) : les échantillons de sédiments ont été prélevés en octobre 2014 –avant le premier cycle d'inondation – tous les 1,5 m le long de 3 transects de 15 m de longueur (Figure 11).

Chaque échantillon est constitué de 4 prélèvements effectués sur 5 cm de profondeur aux quatre coins d'un quadra de 50 cm de côté (quadras utilisés pour la lecture de la végétation).

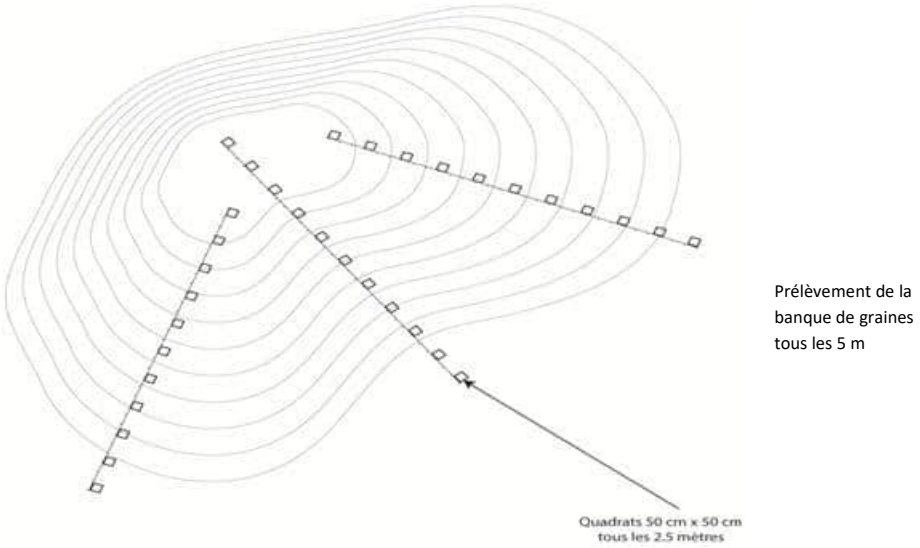


Figure 36. Disposition des 3 transects avec quadras sur la mare du Clos des vaches.

4.1.2.1 Préparation des échantillons pour la mise en culture

Chaque échantillon (constitué de 4 carottes mixées) a été séché à l'étuve à 30° C jusqu'à poids constant puis pilonné et tamisé. Un sous-échantillon de 200g de sol a alors été prélevé et étalé sur un cm d'épaisseur dans une coupelle trouée à sa base, revêtue d'un filtre en tissu Diatex surmonté d'une couche de sable de 1,5 cm d'épaisseur préalablement dessalé et stérilisé. Sur cette couche de sable a été disposé un second filtre de tissu Diatex à maille très fine, ensuite recouvert par la couche de sédiments (Fig. 37). Les coupelles ont été disposées par six dans des bacs, inondés sur une faible épaisseur à pas de temps variable en fonction des conditions climatiques (Fig. 38). Les plateaux ont été placés sur des tables à l'intérieur d'une cage « anti-pollen » les protégeant de toute contamination par des graines venant de l'extérieur (Fig. 38). Trois coupelles témoins comprenant une couche de sable d'un cm d'épaisseur ont été rajoutées au dispositif expérimental afin de pouvoir caractériser d'éventuelles contaminations.

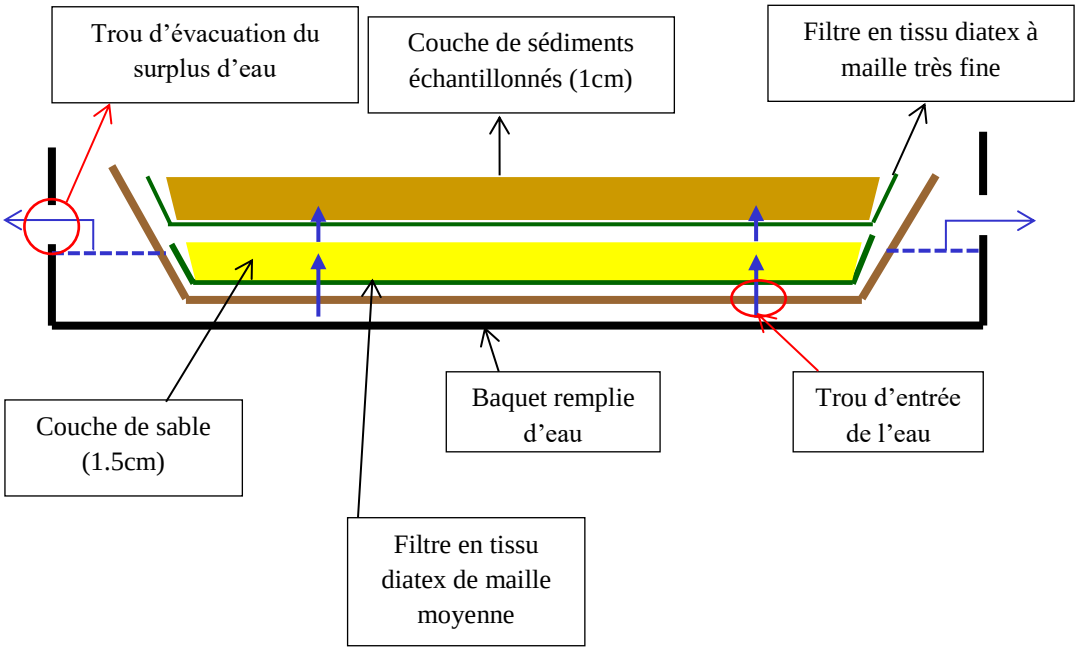


Figure 37. Schéma en coupe des coupelles de germination.



Figure 38. Dispositif expérimental (de gauche à droite et de haut en bas : coupelle de germination, plateau contenant 6 coupelles, cage anti-pollen, tables où sont disposés les plateaux).

4.1.2.2 Suivi de la germination des banques de graines

Le suivi de la germination de la banque de graines des mares A5 et B5 a eu lieu de juillet à fin octobre 2014, sur 27 échantillons pour chaque mare. En raison du creusement tardif (été et automne 2014), le suivi de la germination des banques de graines des mares du Clos des Vaches et de Mas neuf s'est déroulé en 2015 pendant trois mois, du 10 avril au 10 juillet sur 33 échantillons pour les mares de Mas neuf et du Clos des vaches.

Les dénombrements des germinations ont été effectués à un rythme bihebdomadaire les deux premières semaines, puis hebdomadaire.

4.1.2.3 Suivi de la végétation

Les suivis de la végétation au sein des mares A5 et B5 ont été réalisés tardivement en saison, en été 2014 (le 25 juillet) et en été en 2015 (les 21 et 31 juillet) en raison de leur inondation prolongée. Ils n'ont également pu être effectués que tard en été (le 31 juillet) et seulement en 2015 dans les mares du Clos des vaches et de Mas neuf en raison de leur creusement tardif et de leur inondation prolongée. Dans chaque mare, les suivis de la végétation ont été effectués le long des trois transects fixes, au sein de quadras de 50 x 50 cm espacés de 2 m sur les mares A5 et b5, de 2,5 m sur le Clos des vaches et de 1,5 m sur les mares de Mas neuf, en lien avec les tailles respectives des mares. 51quadras ont été ainsi été suivis dans les mares A5 et B5, 63 quadras dans les mares du Clos des vaches et 33 quadras dans chacune des deux mares de Mas neuf. Dans chaque quadra a été estimé le recouvrement de chaque espèce enracinée ou se projetant dans le quadra.
Une étude rapide de la végétation présente avant creusement sur l'emprise des mares et autour de cette emprise a été réalisée pour la mare du Clos des vaches et celles de Mas neuf, respectivement les 28 juillet et 8 septembre 2014 et autour des mares A5 et B5 après leur creusement, le 25 juillet 2014.

4.1.2.4 Topographie relative des mares

En complément de l'étude hydrologique (§ 2), l'altitude relative de chaque quadra a été mesurée à l'aide d'un tachéomètre en juillet 2015.

4.1.2.5 Diagnostic pédologique

En complément de l'étude hydrologique, un diagnostic pédologique a été effectué en été 2014 sur les mares du Clos des vaches, de Mas neuf Est et de Mas neuf Ouest, et a permis de nuancer la profondeur de creusement en fonction du positionnement des couches d'argile (Annexes 1 et 2).

4.1.2.6 Analyses statistiques

Les espèces ayant germé dans les banques de graines ou observées au sein de la végétation ont été regroupées selon les habitats (ou les combinaisons d'habitats) correspondant à leur écologie et à l'histoire agricole des parcelles, qui ont, par le passé toutes connu une exploitation rizicole : pré-salé/sansouire, rizière, mare temporaire, mares temporaire/pré salé, mare temporaire/rizière, et espèces opportunistes nitrophiles. Les variables considérées sont la richesse et l'abondance totale des espèces par échantillon et par type de végétation, c'est-à-dire par habitat ou combinaison d'habitats.
Les analyses effectuées portent sur :

- les relations entre altitude-abondance et altitude-richesse des espèces de la banque de graines, pour les cinq mares, par le test de corrélation de rang Spearman (les données n'ayant pas une distribution normale), à l'aide du logiciel R version 3.1.1 (R development Core Team, 2014) et du logiciel Statistica, version 8.
- les relations entre végétation et germinations de la banque de graine des cinq mares, avec le même test.
- la mise en évidence d'éventuelles différences au sein des banques de graines entre transects d'une même mare par le test non paramétrique de Kruskal-Wallis (logiciel R).
- la dynamique de la végétation des mares A5 et B5 entre 2014 et 2015, par des ANOVA imbriquées (Nested Anova) sous logiciel Satistica, version 8.

- la comparaison de la végétation des mares A5 et B5 en 2014 et en 2015 par des ANOVA imbriquées (Nested Anova) sous logiciel Satistica, version 8.

4.1.2. Etude de la végétation exprimée

3.2 Résultats

3.2.1. Résultats généraux

3.2.1.1 Banques de graines

3.2.1.1.1 Généralités

Richesse et abondance totales (Fig. 39 et 40)

Les banques de graines des 5 mares ont des richesses spécifiques totales variant relativement peu d'une mare à l'autre, d'un facteur de 1 à presque 2 (18 à 32 espèces), tandis que l'abondance totale des germinations varie beaucoup plus fortement, d'un facteur de 1 à 10 (110 à 1323 germinations). Les banques de graines les plus riches et les plus abondantes sont celles des mares A5 et B5, suivies par celle du Clos des vaches, puis celles de Mas neuf Est et Ouest, dont l'abondance est particulièrement faible.

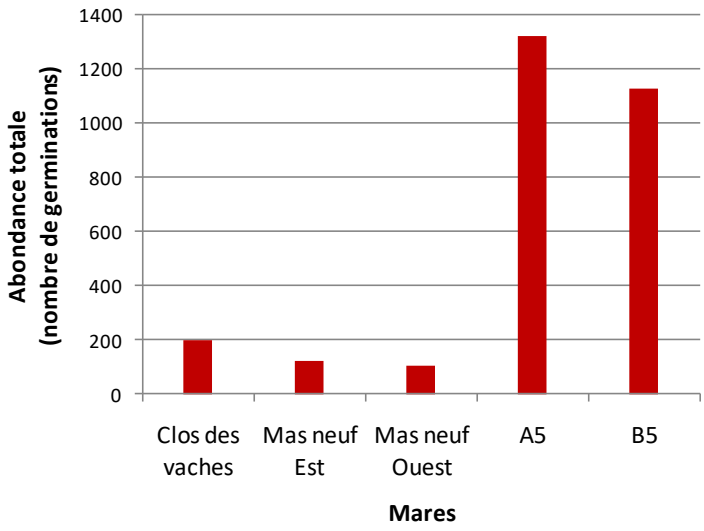


Fig. 39. Abondance totale des banques de graines des 5 mares

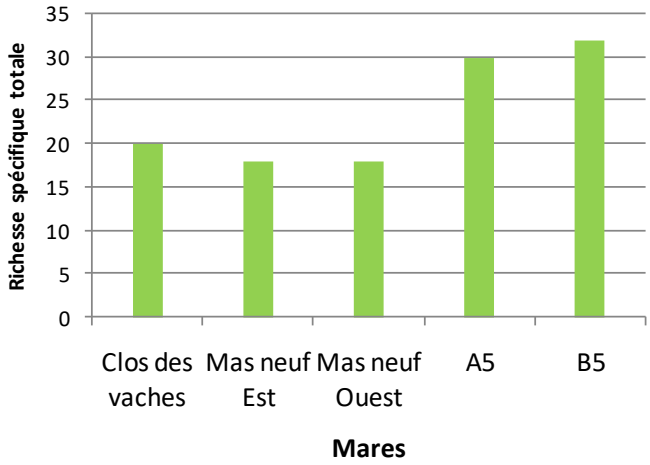


Fig. 40. Richesse spécifique totale des banques de graines des 5 mares

Tab. 1. Composition floristique des banques de graines

"Habitat"	Espèces des banques de graines	Clos des vaches	Mas neuf Est	Mas neuf Ouest	A5	B5	Nombre de mares
PS-MT	*Aeluropus littoralis*				1		1
PS-S	*Arthrocnemum macrostachyum*	1	1	1			3
MT-R	*Aster squamatus*					1	1
PS-S	*Atriplex prostrata*				1		1
PS-S	*Carex divisa*				1	1	2
MT	*Crypsis aculeata*	1			1	1	3
R	*Cyperus difformis*	1	1	1	1	1	5
R	*Cyperus eragrostis*		1	1		1	3
MT-R	*Cyperus fuscus*	1		1		1	3
	dicot sp 1				1		1
	dicot sp 2				1	1	2
R	*Echinochloa sp*			1			1
R	*Eleocharis cf palustris*				1	1	2
PS-S	*Elytrigia sp*					1	1
	Equisetum sp				1	1	2
PS-S	*Hordeum marinum*	1		1			2
PS-S	*Hymenolobus procumbens*			1			1
PS-S	*Juncus acutus*				1	1	2
MT	*Juncus bufonius*				1		1
PS-S	*juncus fasciculatus*	1	1				2
PS-S	*Juncus gerardii*				1	1	2
R	*Juncus lamprocarpus*				1	1	2
PS-S	*Juncus maritimus*	1	1	1	1	1	5
PS-S	*Juncus subulatus*				1	1	2
PS-S	*Limonium narbonense*	1					1
PS-S	*Lysimachia arvensis*	1	1		1	1	4
PS-S	*Medicago cf polymorpha*		1				1
PS-S/MT	*Myosurus minimus*	1					1
PS-S	*Parapholis filiformis*	1					1
R	*Paspalum distichum*				1	1	2
R	*Phragmites australis*	1	1	1			3
N	*Picris echioides*					1	1
PS-S	*Plantago coronopus*		1	1	1	1	4
N	*Plantago major*					1	1
PS-S	*Polypogon maritimus*	1	1		1	1	4
MT	*Ranunculus peltatus* subsp. *peltatus*				1	1	2
R	*Ranunculus sceleratus*				1	1	2
R	*Ranunculus trichopyllus*				1	1	2
PS-S	*Sagina maritima*			1			1
PS-S	*Salicornia europaea*	1		1	1		3
PS-S	*Salicornia perennis*	1	1	1			3
R	*Salix sp*	1	1	1			3
PS-S	*Samolus valerandi*			1			1
R	*Schoenoplectus supinus*					1	1
MT-R	*Setaria sp*		1		1		2
N	*Sonchus oleraceus*				1	1	2
PS-S	*Spergularia bocconei*		1				1
PS-S	*Spergularia media*		1		1	1	3
PS-S	*Spergularia salina*	1	1				2
PS-S	*Tamarix gallica*	1		1			2
PS-S	*Trifolium* cf *fragiferum*				1	1	2
PS-S	*Tripolium pannonicum*	1	1	1			3
R	*Typha angustifolia*	1	1	1	1	1	5
R	*Typha laxmannii*					1	1
R	*Veronica anagalloides*					1	1
	Richesse de la banque de graines	20	18	18	28	31	
	Espèces communes avec la végétation en place	4	1	1	6	8	

MT : mare temporaire, PS : pré salé, S : sansouire, R: rizière, N : nitrophile

Composition floristique

Les germinations des banques de graines des 5 mares totalisent 55 espèces (Tab. 1), qui ont plusieurs origines : certaines proviennent des rizières qui occupaient autrefois les cinq parcelles, d'autres de la végétation présente en surface avant creusement, et/ou occupent actuellement la bordure des mares, d'autres enfin peuvent provenir de la colonisation de la mare par des espèces cibles, adaptées à l'inondation temporaire automnale et hivernale et caractéristiques des mares temporaires méditerranéennes.
Selon leur écologie et leur oirigine supposée, les espèces ont été schématiquement classées en six classes de végétation :

- les espèces de pré salé et/ou de sansouire, regroupées dans une catégorie « pré salé / sansouire » ; ce sont généralement des espèces observées en surface avant creusement des mares, ou en bordure des mares. Leur richesse est de 27 espèces indigènes, représentant 50% de la richesse totale
- les espèces de mares temporaires, liées à l'inondation temporaire en automne et en hiver de la mare, voire celle de la parcelle tout entière (vrai pour A5 et B5) ; leur richesse, 3 espèces indigènes, est faible.
- les espèces adventices des rizières, au nombre desquelles figurent des espèces introduites (4 espèces), et des espèces autochtones qui sont aussi des espèces des roselières (10 espèces),
- les espèces des « mares temporaires / rizières », pouvant s'observer dans les deux habitats (3 espèces, dont une introduite)
- les espèces des « mares temporaires / prés salés », pouvant s'observer dans ces deux habitats (2 espèces)
- les espèces nitrophiles opportunistes, liées au pâturage (3 espèces indigènes)

A ces 6 catégories s'ajoutent 2 dicotylédones indéterminées, disparues avant détermination et une petite prêle (*Equisteum* sp), dont l'écologie est mal connue

<u>Dans les banques de graines des cinq mares dominent, en richesse et en abondance, les espèces halophiles et méso-hygrohiles de pré salé /sansouire, puis les espèces adventices des rizières (Fig. 41 à 43).</u>

<u>Les espèces caractéristiques des mares temporaires sont présentes dans les banques de graines de trois des cinq mares, où elles sont encore très peu nombreuses et peu abondantes.</u>

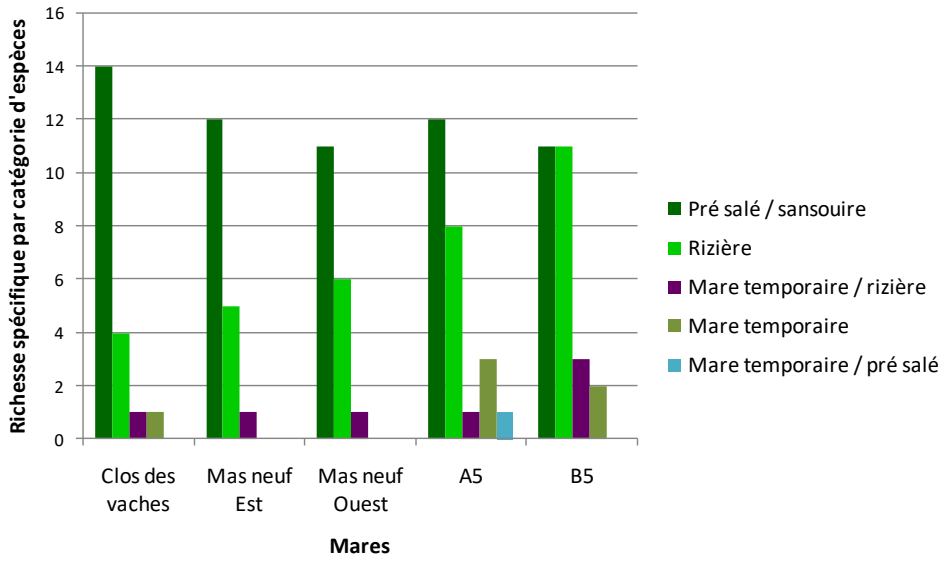


Fig. 41. Richesse spécifique des échantillons de la banque de graines par catégorie d'espèces et par mare

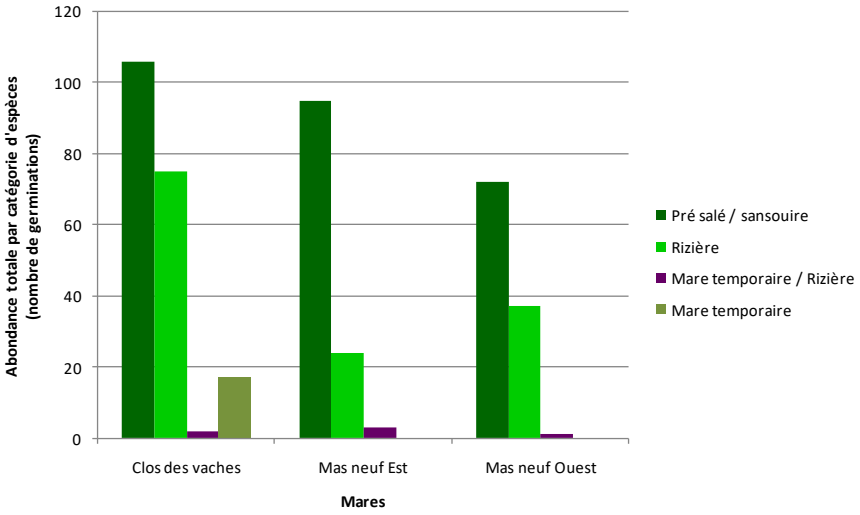


Fig. 42. Abondances des germinations par catégorie d'espèces dans les banques de graines des mares du Clos des vaches, Mas neuf Est et Ouest

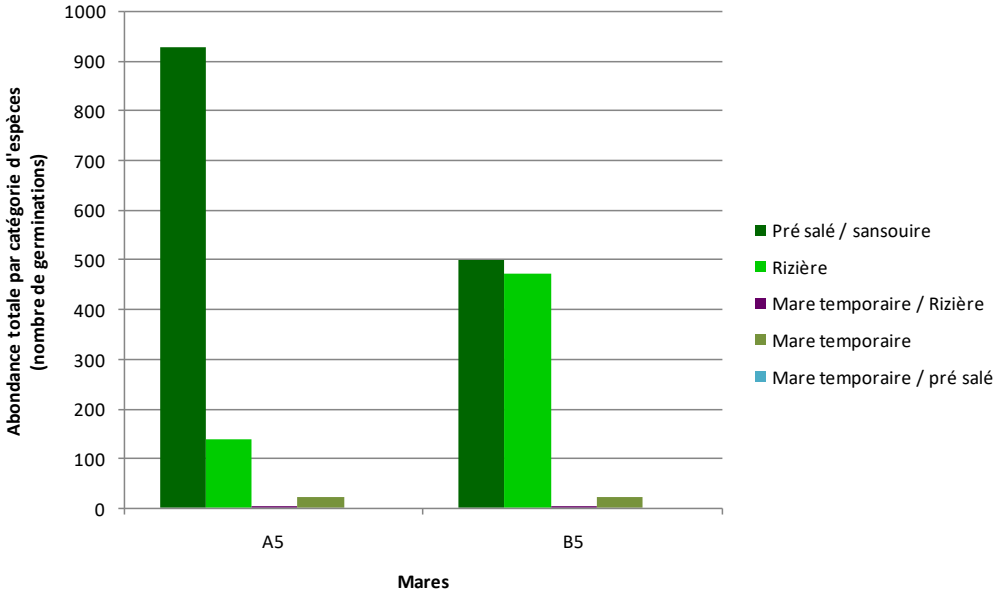


Fig. 43. Abondances des germinations par catégorie d'espèces dans les banques de graines des mares A5 et B5

3.2.1.1.2 Résultats par mare

a) <u>Clos des vaches</u>

L'abondance totale est de 200 germinations et l'abondance par échantillon varie de 0 à 66 individus, avec une moyenne de 6,1 ± 13,4 germinations par échantillon. La richesse totale de la banque de graines est de 20 espèces et la richesse par échantillon varie de 0 à 7 espèces, avec une moyenne de 1,6 ± 2,3 espèces. La végétation de pré-salé/sansouire domine, contribuant pour 53 % à l'abondance totale, suivie par la végétation des rizières (37,5 %) et celle des mares temporaires (8,5 %)Les espèces dominantes, représentant plus de 80 % de la contribution, sont le Souchet difforme *Cyperus difformis* (35% de l'abondance), la Salicorne radicante *Salicornia perennis* (16,5 %), l'Orge maritime *Hordeum marinum* (13.5%), le Crypsis en aiguillon *Crypsis aculeata* (8.5%) et le Lepture filiforme *Parapholis filiformis* (8.5%) .

a) Mare Mas neuf Est

La banque de graine de MNE a une abondance totale de 127 germinations et une abondance moyenne de 3.8 ± 6,7 germinations par échantillon, avec un maximum de 22 germinations par échantillon et un minimum de 0.La richesse totale est de 18 espèces, la richesse moyenne de 1,8 ± 1,7 espèces, la richesse par échantillon variant de 0 à 5 espèces.Les espèces de pré-salé/sansouire sont les plus abondantes dans la banque de graine, représentant 85,8% de la contribution totale, suivies des espèces de rizière (11,8%) et de celles des mares temporaires/rizières (2,4%) ; on n'observe aucune espèce de mare temporaire. L'espèce la plus abondante est la Salicorne radicante *Salicornia perennis* (contribution de 29,1%), suivie de la Grande salicorne *Arthrocnemum macrostachyum* (15,7%) et de l'Aster de Tripoli *Tripolium pannonicum* (11,8%).

b) Mare Mas neuf Ouest

La richesse totale de la banque de graines est de 18 espèces et la richesse par échantillon varie de 0 à 7 espèces avec une moyenne de 1,3 ± 1,4 espèce. L'abondance totale est de 110 germinations et l'abondance par échantillon varie de 0 à 22 germinations avec une moyenne de 3,3 ± 5,5 germinations par échantillon. La végétation de pré-salé/sansouire domine avec 65,5 % de l'abondance totale, suivie par la végétation des rizières (33,6 %) et celle des mares temporaires/rizière (0,9%) ; il n'y a aucune espèce de mare temporaire. Les espèces dominantes, représentant au total plus de 80 % de la contribution, sont *Arthrocnemum macrostachyum* (28,2%), la Salicorne pérenne *Salicornia perennis* (24,5%), le Roseau commun *Phragmites australis* (18,2%) et la Massette de Laxmann *Typha laxmannii* (6,4%).

c) Mare A5

La richesse totale de la banque de graines est de 28 espèces et la richesse par échantillon varie de 0 à 16 espèces, avec une moyenne de 4,6 ± 4,3 espèces. L'abondance totale est de 1323 germinations et l'abondance par échantillon varie de 0 à 274 individus, avec une moyenne de 49 ± 79,8 germinations. La végétation de pré-salé/sansouire domine avec une contribution de 44,4 %, suivie par la végétation des rizières (37 %) puis celle des mares temporaires (1.9%). Les espèces les plus abondantes sont le Jonc de Gérard *Juncus gerardii* (contribution de 46,6%), *Equisetum sp.* (16,3%) et le Polypogon maritime *Polypogon maritimus* (5,7%) .

d) Mare B5

L'abondance totale est de 1129 germinations et l'abondance par échantillon varie de 0 à 275 avec une moyenne de 40,4 (± 71,9) germinations par échantillon. La richesse totale de la banque de graines est de 31 espèces et la richesse par échantillon varie de 0 à 15 espèces avec une moyenne de 5,2 ± 4,5 espèces. La végétation de pré-salé/sansouire est la plus abondante avec 23,4 % de l'abondance totale, suivie par la végétation des rizières (9,4 %) et celle des mares temporaires (1,4%). Les espèces les plus abondantes sont le jonc de Gérard *Juncus gerardii* (contribution de 23,9%), La Massette de Laxmann *Typha laxmannii* (22,1%) et *Equisetum sp.* (9,8%)..

3.2.1.2 La végétation des mares

3.2.1.2.1 Généralités

Richesse et recouvrement

La richesse totale par mare varie de 1 à 14 espèces selon les mares (Fig. 44) ; les mares moins riches sont les deux mares de Mas neuf Est et Ouest, avec une seule espèce observée. Le recouvrement cumulé de la végétation au sein des quadras de chaque mare varie de 35 % de la surface d'un quadra (Mas neuf ouest) à 1029 % (Clos des vaches), soit un facteur d'un à 30.

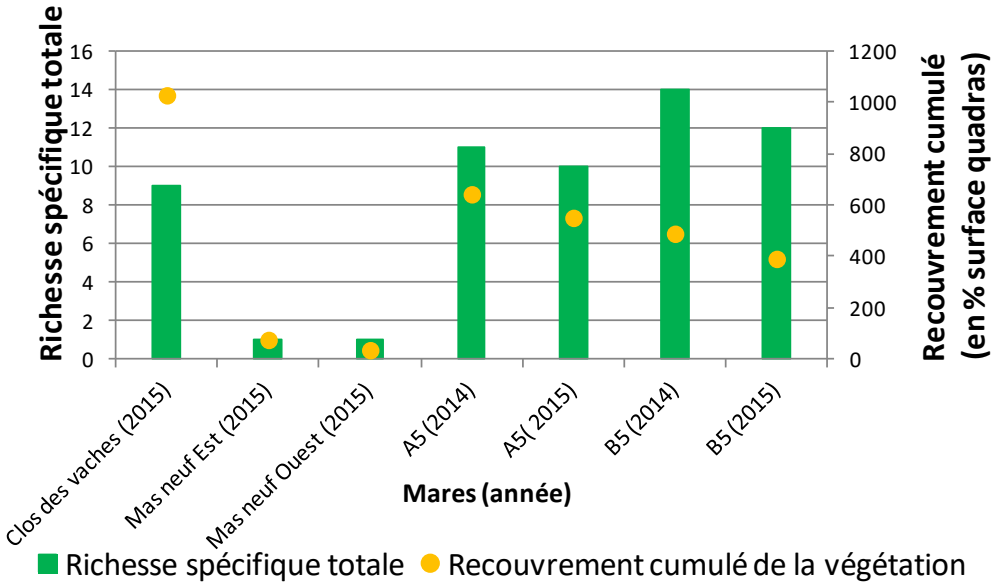


Fig. 44. Richesse spécifique totale et recouvrement cumulé de la végétation des mares

La richesse spécifique moyenne par quadra et par mare varie selon les mares de 0,03 espèce (Mas neuf Ouest) à 1,3 (mare B5). Le recouvrement moyen de la végétation par quadra et par mare varie de 1,1 (Mas neuf Ouest) à 16,3 % (Clos des vaches) (Fig. 45).

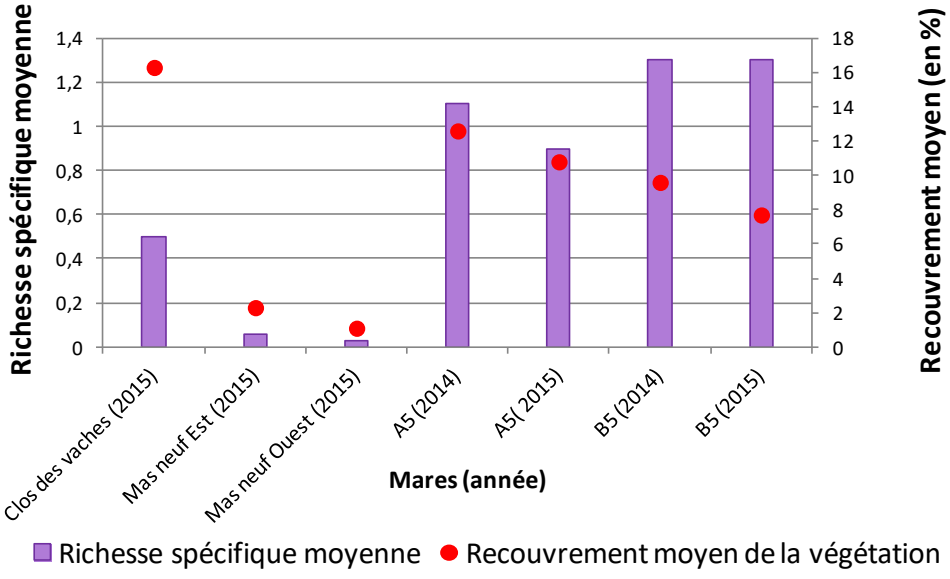


Fig. 45. Richesse spécifique moyenne et recouvrement moyen par quadra de la végétation des mares

Composition floristique

23 espèces au total ont été observées dans la végétation des cinq mares (Tab. 2), soit moins de la moitié de la richesse totale des germinations des banques de graines. Elles ont été classées selon leur écologie et leur origine supposée en 5 classes qui ne diffèrent de celles des banques de graines que par l'absence des espèces nitrophiles : pré salé / sansouire (16 espèces indigènes), rizières (3 espèces : une introduite, 2indigènes), mares temporaires (une espèce indigène), mares temporaires / pré salé (1 espèce indigène), mares temporaires/rizières (2 espèces : une indigène, une introduite).

Tab. 2. Composition floristique de la végétation des mares

"Habitat"	Végétation exprimée / Mares (année de suivi)	Clos des vaches (2015)	Mas neuf Est (2015)	Mas neuf Ouest (2015)	A5 (2014)	A5 (2015)	B5 (2014)	B5 (2015)
MT-PS	*Aeluropus littoralis*	1			1	1		1
R	*Alisma sp*	1						
PS-S	*Arthrocnemum macrostachyum*		1	1				
MT-R	*Aster squamatus*						1	
PS-S	*Atriplex prostrata*				1	1	1	1
MT-R	*Bolboschoenus maritimus*	1			1	1		1
MT	*Crypsis aculeata*				1	1	1	1
PS-S	*Cynodon dactylon*						1	
PS-S	*Hordeum marinum*	1						
PS-S	*Inula critmoides*						1	
PS-S	*Juncus gerardi*				1	1	1	1
PS-S	*Juncus maritimus*					1	1	1
PS-S	*Juncus subulatus*				1	1	1	1
PS-S	*Limonium narbonense*	1						
R	*Paspalum distichum*						1	1
R	*Phragmites australis*				1	1	1	1
PS-S	*Plantago coronopus*						1	
PS-S	*Polypogon maritimus*						1	1
PS-S	*Salicornia europaea*	1			1	1	1	1
PS-S	*Salicornia fruticosa*	1						
PS-S	*Salsola soda*				1			
PS-S	*Suaeda maritima*	1			1	1	1	1
PS-S	*Tripolium pannonicum*	1						
	Richesse	9	1	1	10	10	14	12
	Espèces communes avec les banques de graines	4	1	1	6		8	

MT : mare temporaire, PS : pré salé, S : sansouire, R: rizière

<u>La végétation de pré salé / sansouire domine en terme de richesse spécifique dans les cinq mares (Fig. 46). Elle domine également en abondance dans toutes les mares à l'exception de la mare A5, où domine la végétation de mare temporaire / pré salé, représentée par une seule espèce, l'Aélurope du littoral *Aeluropus littoralis* (Fig. 47).</u>

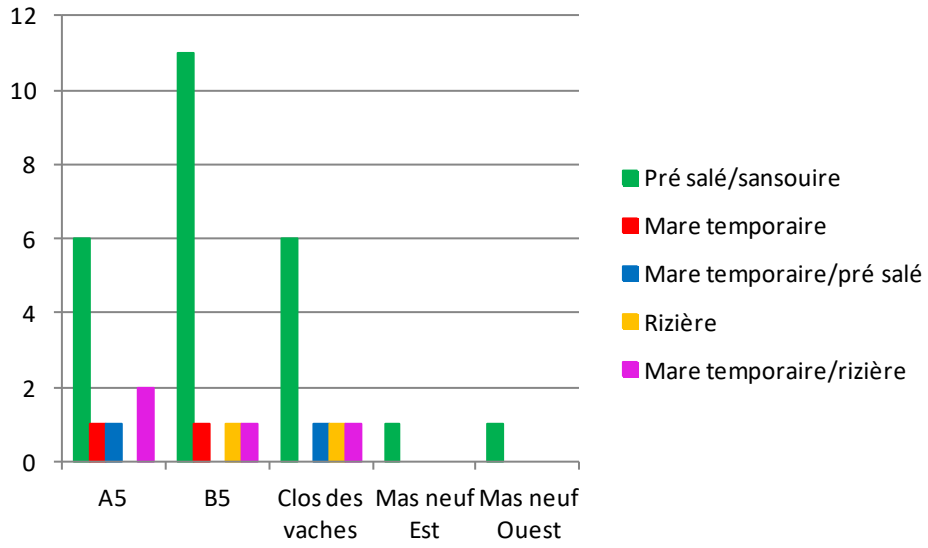


Fig. 46. Richesse de la végétation par type de végétation et par mare

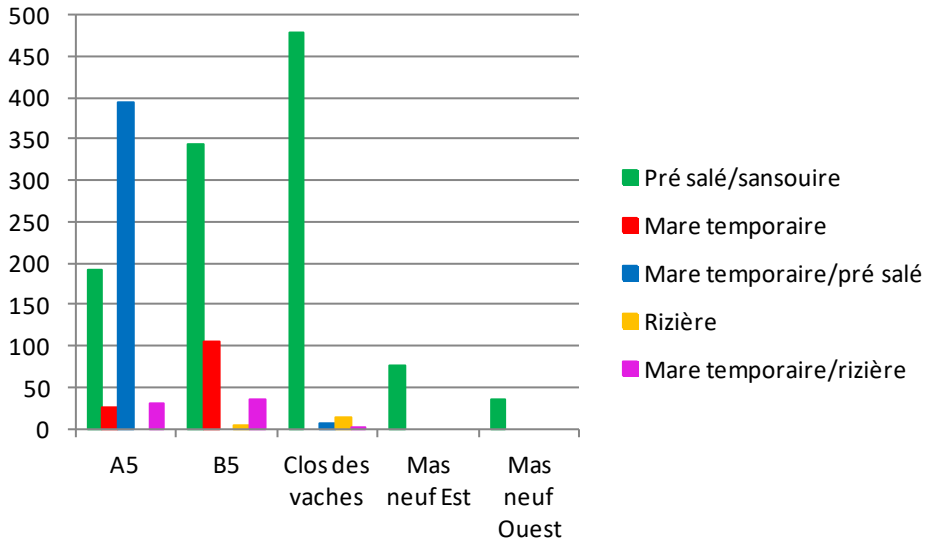


Fig. 47. Recouvrement cumulé de la végétation par type de végétation et par mare

3.2.1.2.2 Résultats par Mare

a) Mare A5

En 2014

- 21 quadras (soit 41 %) sont végétalisés en 2014, correspondant à la totalité des quadras non décapés (au nombre de 6) et à 33 % des quadras décapés (au nombre de 45). Des 18 quadras (soit 35 %) encore inondés le 25 juillet 2014, jour du relevé, aucun n'est végétalisé.
- La richesse totale de la végétation exprimée est de 10 espèces et la richesse par quadra varie de 0 à 7 espèces avec une moyenne de 1,1 ± 1,6 espèce
- Le recouvrement cumulé de tous les quadras est de 643 %, soit 12,6 % de la surface des 51 quadras étudiés ; le recouvrement par quadra varie de 0 à 95,8 % avec une moyenne de 12,6 ±26,4 %
- La végétation de Mare temporaire /Pré salé domine avec 61,4 % de la contribution totale, suivie de la végétation de Pré salé/Sansouire (30 %), puis celle de Mare temporaire /Rizière (5 %), enfin celle de Mare temporaire (3,6 %). Les espèces les plus abondantes sont l'Aélurope du littoral *Aeluropus littoralis* (contribution de 61,4%), la Salicorne d'Europe *Salicornia europaea* (18 %), le Jonc en alène

Juncus subulatus (8,2 %), le Roseau commun *Phragmites australis* (4,7 %) et le Crypsis en aiguillon *Crypsis aculeata* (3,8 %).

En 2015
- 21 quadras (soit 41 %) sont végétalisés correspondant au 6 quadras non décapés, et à 15 des quadras décapés (soit 30 %). Des 23 quadras encore inondés au 31 juillet 2015 (soit 45 % des quadras), aucun n'est végétalisé.
- La richesse totale est de 9 espèces, la richesse par quadra varie de 0 à 7 espèces, avec une moyenne de 0,9±1,5 espèce.
- le recouvrement cumulé des quadras est de 550,8 %, soit 10,8 % de la surface des 51 quadras étudiés ; le recouvrement par quadra varie de 0 à 95,5 %, avec une moyenne de 10,8 ± 22%
- la végétation de Mare-temporaire/Pré-salé domine avec une contribution de 82,1 %, suivie de la végétation de Mare-temporaire/Rizière (9,1 %), puis de Mare temporaire (7,7 %), enfin de Pré salé/Sansouire (1,2 %). Les espèces dominantes sont l'Aelurope du littoral *Aeluropus littoralis* (82,1 % de la contribution totale), le Crypsis en aiguillon *Crypsis aculeata* (8,4%) et le roseau commun *Phragmites australis* (7,7 %).

b) Mare B5

En 2014 :
- 41 % des quadras sont végétalisés, correspondant à la totalité des quadras non décapés (au nombre de 8) et à 33 % des quadrats décapés (au nombre de 43). Des 7 quadras encore inondés au 31 juillet, aucun n'est végétalisé.
- La richesse totale est de 14 espèces et la richesse par quadra varie de 0 à 8 espèces avec une moyenne de 1,3± 2 espèces.
- Le recouvrement cumulé en 2014 au sein des quadras est de 489 % (soit 9,6 % de la surface des 51 quadras étudiés) et le recouvrement par quadra varie de 0 à 94%, avec une moyenne de 9,6± 21,4 %.
- La végétation de pré-salé/sansouire est la plus abondante (75,3 % de la contribution totale), suivie par la végétation de mares temporaires (17,6 %) et celle de rizières (6,7%). Les espèces les plus abondantes sont le Jonc maritime *Juncus maritimus* (41,2% de contribution), le Crypsis en aiguillon *Crypsis aculeata* (17,6%) et le Jonc de Gérard *Juncus gerardii* (17,1%).

En 2015
- 57 % des quadras sont végétalisés, correspondant à la totalité des quadras non décapés et à 49 % des quadras décapés.
- La richesse totale est de 12 espèces, la richesse par quadra varie de 0 à 7 espèces, avec une moyenne de 1,3±1,7 espèce.
- Le recouvrement cumulé en 2015 de la végétation au sein des quadras est de 390,5 % (soit 7,6 % de la surface totale des 51 quadras étudiés) et le recouvrement par quadra varie de 0 à 60,8 %, avec une moyenne de 7,7±16,1 %
- La végétation de pré salé/sansouire domine avec une contribution de 47,4 % , suivie de la végétation des mares temporaires (35 %), de celle des mares temporaires/rizières (16,3 %) et de celle des rizières (1,2 %). Les espèces les plus abondantes sont le Crypsis en aiguillon *Crypsis aculeata* (35,1 % de contribution), le Jonc maritime *Juncus maritimus* (16,4 %), le Jonc de Gérard *Juncus gerardi* (16,1 %), le Jonc en alène *Juncus subulatus* (10 %) et le Scirpe maritime *Bolboschoenus maritimus* (9,9 %).

c) Mare du Clos des vaches

10 des 63 quadras (soit 16 %) étaient encore en eau au 31 juillet 2015. La richesse totale de la végétation est de 9 espèces ; la richesse par quadra varie de 0 à 4 espèces, avec une moyenne par quadra de 0,5 ±0,9 espèces (Fig. 48). Le recouvrement cumulé de la végétation au sein des quadras est de 1029% (soit 16 % de la surface totale des 63 quadras étudiés), variant au sein des quadras entre 0 et 81% (Fig. 49), avec une moyenne de 16,3 ± 38,3 %. La végétation de Pré salé/Sansouire est la plus abondante (contribution de 82 %), suivie par la végétation de Pré-salé/Roselière (contribution de 12,6

%) et la végétation de Rizière/Roselière (contribution 2,8 %). Les espèces les plus abondantes sont la Saladelle de Narbonne (*Limonium narbonense*) avec une contribution de 78,6 %, l'Aster de Tripoli (*Tripolium pannonicum*) avec une contribution de 12,6% et la Salicorne buissonnante (*Salicornia fruticosa*), avec une contribution de 3,6 %. 25,4 % des quadras sont végétalisés, correspondant à 2 des 3 quadras non décapés et à 23,8 % des quadras décapés, au nombre de 60.

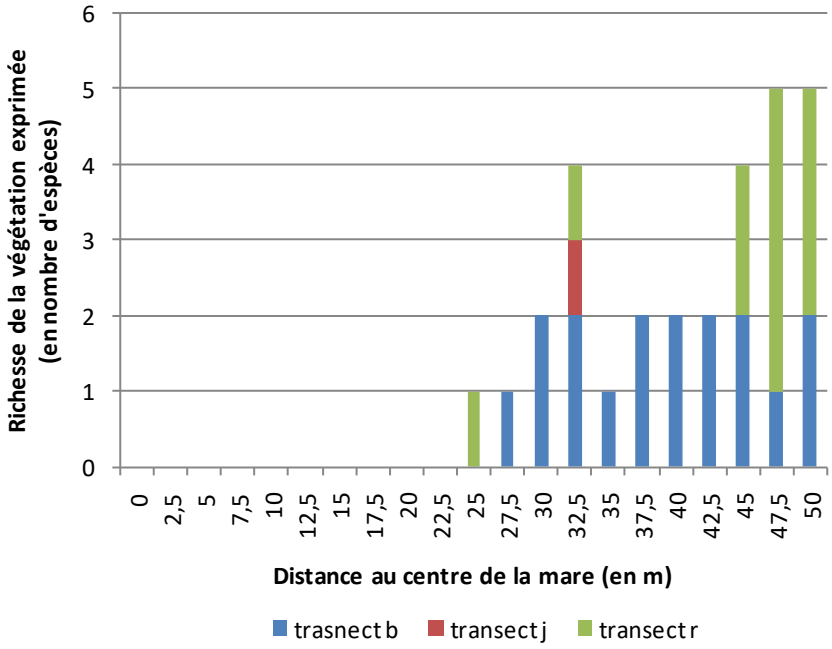


Fig. 48. Richesse de la végétation par quadra le long des trois transects b, j, r

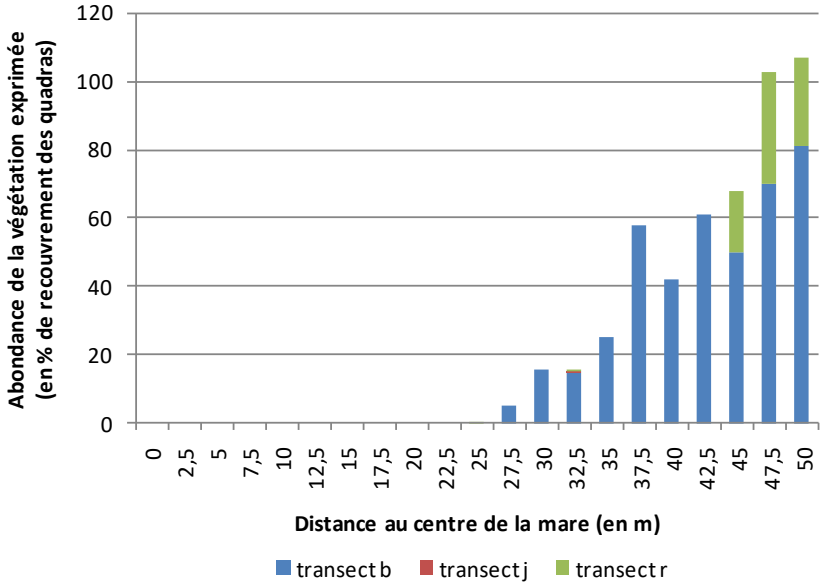


Fig. 49. Recouvrement de la végétation par quadra le long des trois transects b, j, r

d) Mare de Mas Neuf Est

13 des 33 quadras (soit 39 %) étaient encore en eau au 31 juillet 2015. Deux quadras seulement sont végétalisés (soit 6% des quadras), correspondant à 2 quadras non décapés et non inondés situés en bout d'un des trois transects. La richesse spécifique de la végétation relevée dans ces deux quadras est d'une seule espèce, la Grande salicorne *Arthrocnemum macrostachyium*, ce qui rattache la végétation observée à l'habitat de la Sansouire pérenne, dont la contribution est donc de 100 %. Le recouvrement cumulé de la végétation sur les quadras est de 75 % (soit 2,3 % de la surface totale des 33 quadras étudiés) avec un recouvrement respectif de 20 et 55% au sein des deux quadras. Le recouvrement moyen par quadra est de 2,3 ± 11 % et la richesse moyenne de 0,06 ± 0,24 espèce. Parmi les cinq quadras non décapés, trois ne sont pas végétalisés.

On observe également sur 4 quadras une végétation morte de salicornes vivaces, qui occupe 2 quadras décapés et 2 quadras non décapés, respectivement situés sur les deux autres transects, et dont le recouvrement cumulé atteint 155 %.

e) Mare de Mas Neuf Ouest

15 quadras (soit 45,4 %) étaient encore en eau au 31 juillet 2015. Seul un quadra, non décapé et non inondé, situé à 12 m sur le transect central, est végétalisé, Une seule espèce, caractéristique de la sansouire pérenne, y est présente : la Grande Salicorne *Arthrocnemum macrostachyum*, avec un recouvrement de 35 % du quadra qui représente aussi le recouvrement cumulé de la végétation au sein des quadras (soit 1% de la surface des 33 quadras étudiés). Le recouvrement moyen par quadra est de 1,1 ± 6,1 %, et la richesse moyenne par quadrat de 0,03 ± 17 espèce. Les trois quadras non décapés (dont l'un est végétalisé, voir ci-dessus), abritent aussi une végétation morte de salicorne vivace, de même que 4 autres quadras décapés.

3.2.2 Influence de l'altitude sur l'abondance et la richesse spécifique de la banque de graines des cinq mares

3.2.2.1 Mare du Clos des Vaches

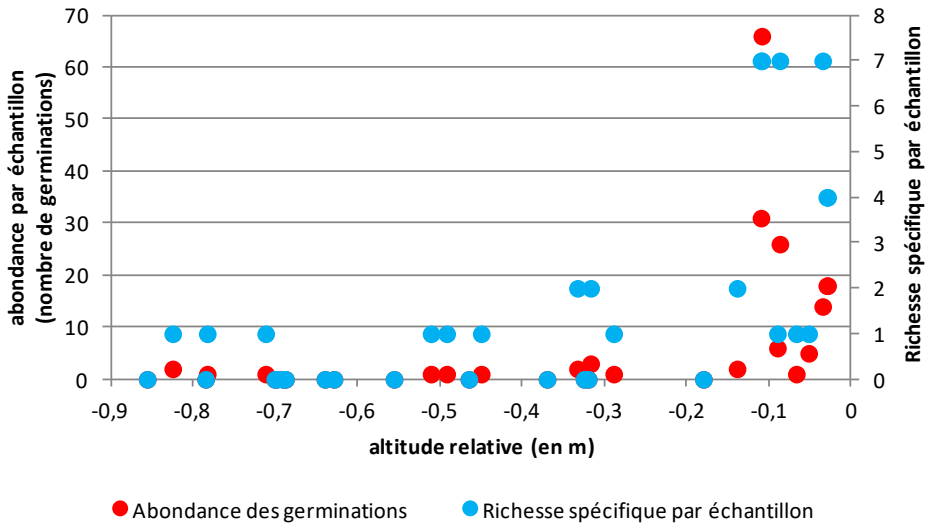


Fig. 50. Richesse spécifique totale et abondance totale par échantillon en fonction de l'altitude relative, dans la banque de graines de la mare du Clos des vaches

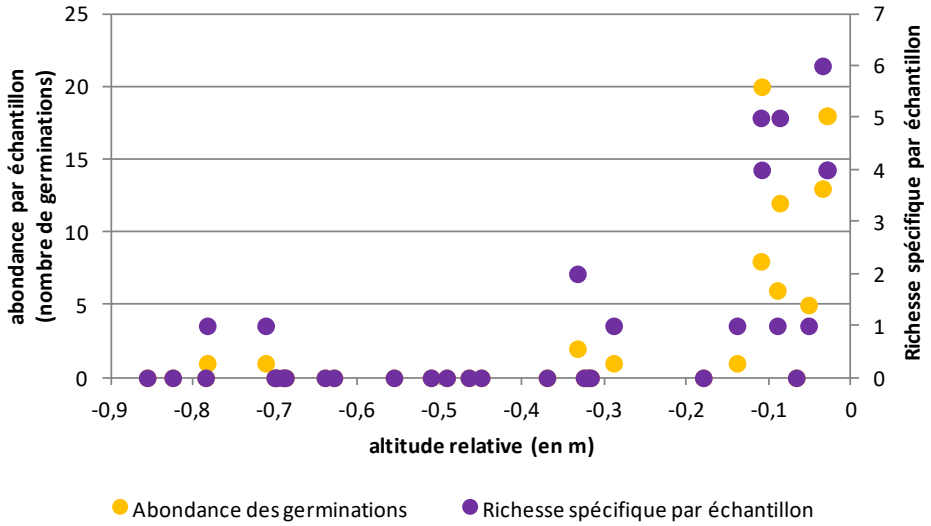


Fig. 51. Richesse spécifique et abondance par échantillon des espèces de « pré salé / sansouire », en fonction de l'altitude relative, dans la banque de graines de la mare du Clos des vaches.

L'altitude relative a un effet positif sur l'abondance totale de germinations par échantillon de la banque de graines ($S = 2046,4$, $p < 0,05$, $rho = 0,658$) : plus l'altitude augmente, plus on se rapproche du bord de la mare et plus l'abondance totale par échantillon augmente (Fig. 50). On constate le même effet sur la richesse spécifique par échantillon ($S = 2208,03$, $p < 0,05$, $rho = 0,631$) (Fig. 50), sur l'abondance en espèces de pré salé / sansouire ($S = 2135,46$, $p < 0,05$, $rho = 0,643$) (Fig. 51) et sur la richesse spécifique en espèces de prés-salés/sansouire ($S = 2338,62$, $p < 0,05$, $rho = 0,609$) (Fig. 51).

3.2.2.2 Mas Neuf Est

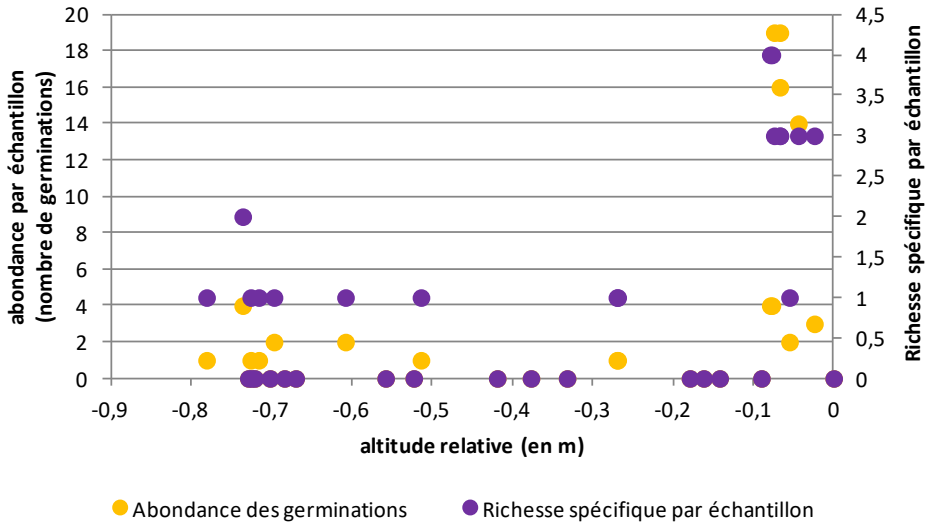


Fig. 52. Richesse spécifique et abondance par échantillon des espèces de pré salé / sansouire, en fonction de l'altitude relative, dans la banque de graines de la mare de Mas neuf Est.

Dans cette mare, l'altitude a une influence sur l'abondance par échantillon en espèces de prés-salés/sansouires (S = 3890,62, p < 0,05, rho = 0,350) (Fig. 52), sur la richesse de ces espèces (S = 3902,80, p < 0,05, rho = 0,348) (Fig. 52) ainsi que sur l'abondance des espèces de « mare temporaire / rizière » (t(N-2) = 2,2 , p < 0,05, rho = 0,370) et la richesse spécifique de ces espèces et de mare temporaire/rizière (S = 3797,76, p < 0,05, rho = 0,365). Plus l'altitude augmente, plus les valeurs de ces variables augmentent.

3.2.2.3 Mas Neuf Ouest

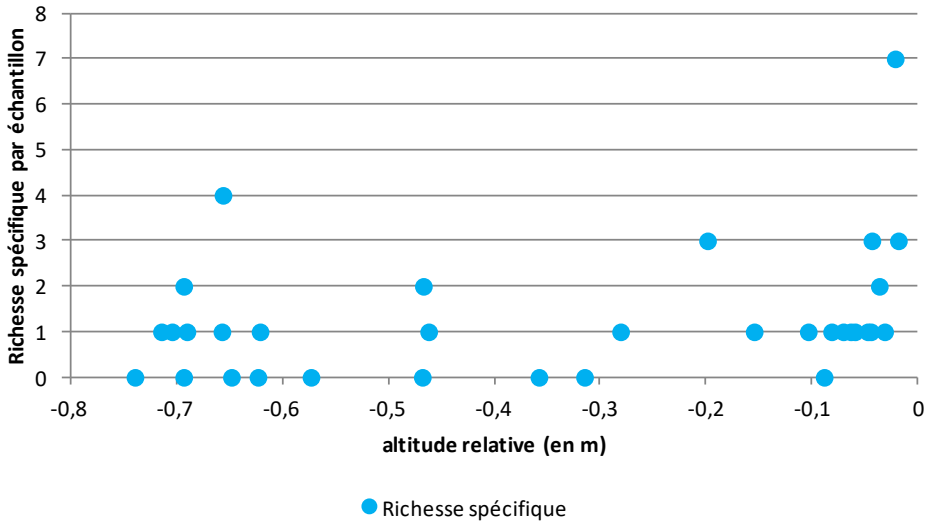


Fig. 53. Richesse spécifique totale par échantillon en fonction de l'altitude relative, dans la banque de graines de la mare de Mas neuf Ouest

L'altitude a un effet sur une seule variable, la richesse spécifique totale par échantillon (S = 3705,41, p < 0,05, rho = 0,381) (Fig. 53). Plus on s'éloigne du centre de la mare, plus la richesse totale en espèces augmente.

3.2.2.4 Mare A5

Les variables de la banque de graines corrélées avec l'altitude sont :
- l'abondance (t(N-2) = 5,6, p < 0,00001, rho = 0,77), et la richesse totale par échantillon (t(N-2) = 3,8, p < 0,001, rho = 0,6) (Fig. 54) ;

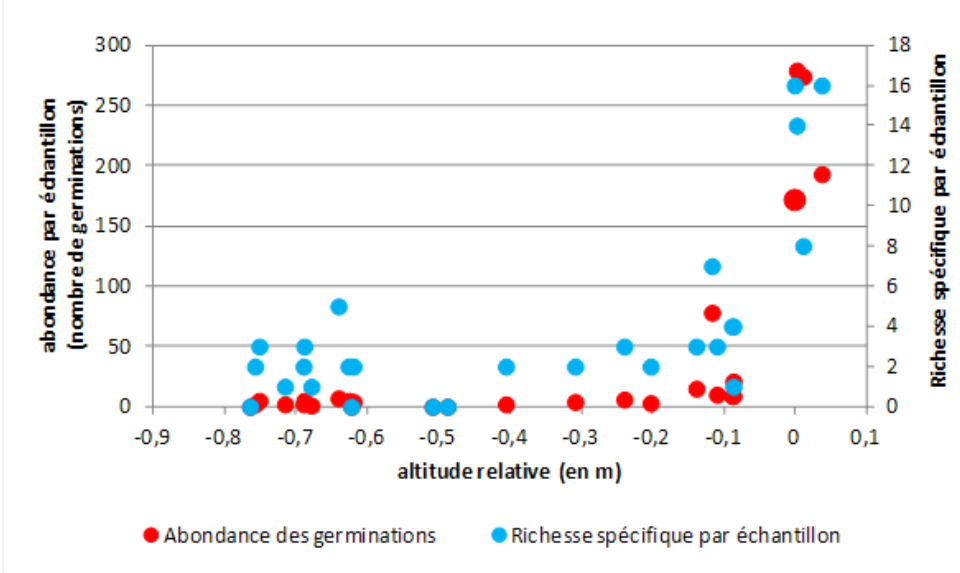


Fig. 54. Abondance et richesse totale par échantillon de la banque de graines dans la mare A5, en fonction de l'altitude relative

- l'abondance en espèces de pré salé/sansouire ($t(N-2) = 5,9$, $p < 0,00001$, $rho = 0,77$) et leur richesse ($t(N-2) = 4$, $p < 0,001$, $rho = 0,63$) (Fig. 55) ;

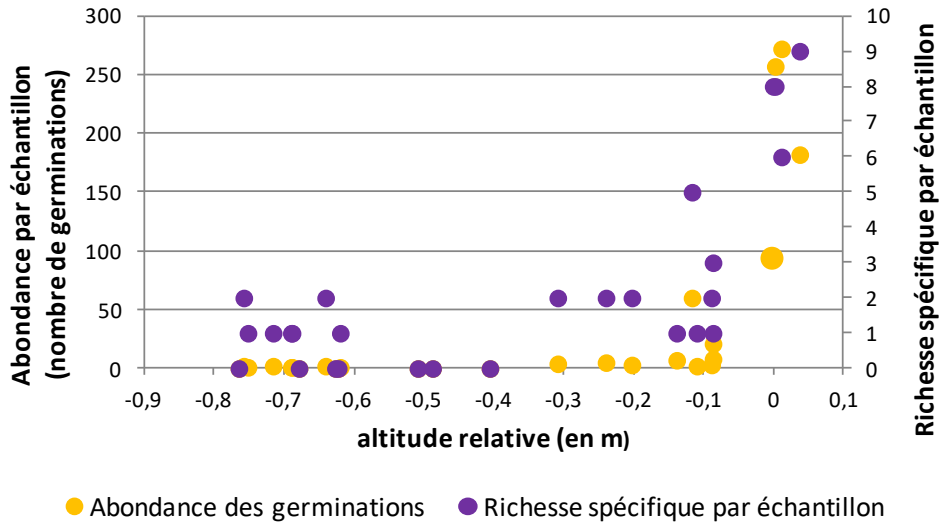


Fig. 55. Abondance et richesse totale par échantillon de la banque de graines des espèces de pré salé / sansouire dans la mare A5, en fonction de l'altitude relative

- l'abondance en espèces des rizières (t(N-2) = 4,8, p < 0,0001, rho = 0,7), ainsi que leur richesse (t(N-2) = 5,5, p < 0,0001, rho = 0,74) ;

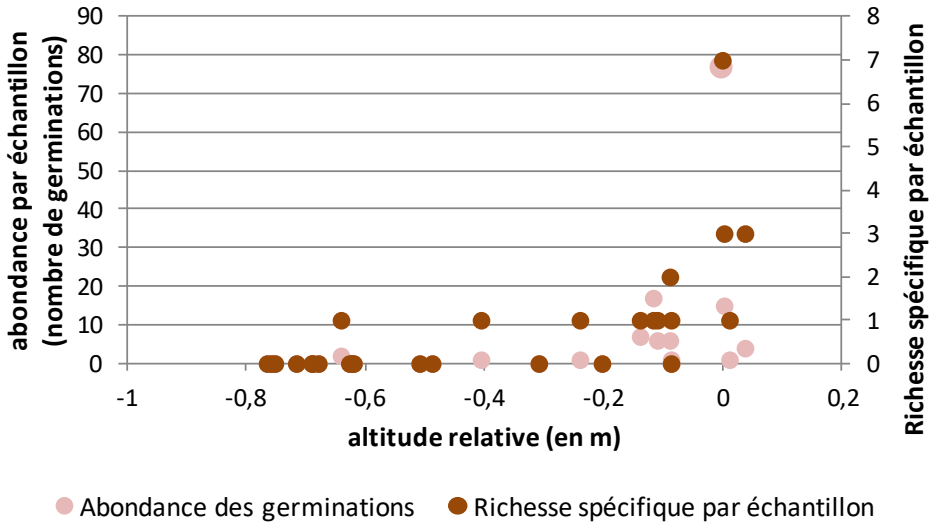


Fig. 56. Abondance et richesse totale par échantillon de la banque de graines des espèces de rizière dans la mare A5, en fonction de l'altitude relative

- l'abondance en espèces de mare temporaire / pré salé (t(N-2) = 2,5, p < 0,05, rho = 0,45), et et leur richesse (t(N-2) = 2,5, p < 0,05, rho = 0,4) (Fig. 56).
Plus l'altitude augmente, plus les valeurs de ces variables augmentent.

3.2.2.5 Mare B5

Les variables de la banque de graines corrélées avec l'altitude sont :
- l'abondance (t(N-2) = 3 , p < 0,01, rho =0,51) et la richesse totale par échantillon (t(N-2) = 3 , p < 0,01, rho =0,51) (Fig. 57) ;

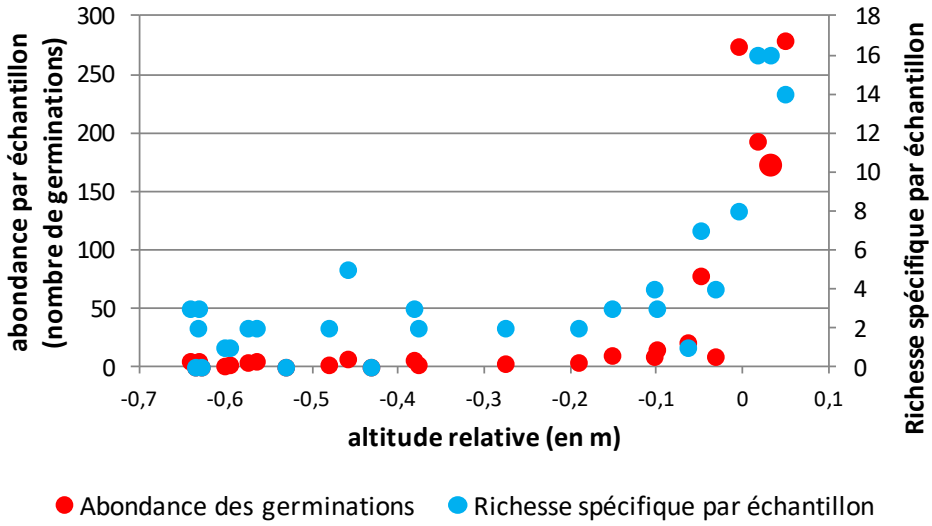


Fig. 57. Abondance et richesse totale par échantillon en fonction de l'altitude dans la mare B5

- l’abondance en espèces de pré salé / sansouire ($t(N-2) = 3,4$, $p < 0,01$, $rho = 0,56$) et leur richesse ($t(N-2) = 3$, $p < 0,01$, $rho = 0,52$) ;
- l’abondance en espèces des rizières ($t(N-2) = 2,9$, $p < 0,01$, $rho = 0,5$), et leur richesse ($t(N-2) = 2,9$, $p < 0,01$, $rho = 0,5$) ;
- la richesse en espèces nitrophiles ($t(N-2) = 2,2$, $p < 0,05$, $rho = 0,51$).

Plus l’altitude augmente, plus les valeurs de ces variables augmentent.

3.2.2.6 Avec les seuls quadras décapés

Les mêmes analyses ont été réalisés en excluant les données des échantillons prélevés sur les zones non-décapées en bordure de mares, afin d’évaluer si les corrélations entre altitude et variables de la banque de graines dépendait uniquement de ces échantillons :
- sur la mare du Clos des vaches, les mêmes variables restent corrélées avec l’altitude, et deux nouvelles variables deviennent corrélées avec l’altitude : l’abondance des espèces de rizières ($S = 2869,74$, $p = 0,0496$, $rho = 0,362$) ainsi que la richesse spécifique en espèces de mare temporaire /rizière ($S = 2769,72$, $p = 0,0363$, $rho = 0,384$) ;
- sur la mare de Mas Neuf Est, Il n’y a plus de corrélation entre les variables et l’altitude à l'exception de la richesse en espèces des rizières ($S = 1694,98$, $p = 0,0033$, $rho = 0,536$) ;
- sur Mas Neuf Ouest, il n’y a plus aucune corrélation entre l’altitude et les variables considérées.
- sur la mare ; A5, on n’observe plus de corrélation entre l’altitude et la richesse des espèces de mare temporaire/pré salé mais les corrélations subsistent, bien que moins fortes, pour les autres variables : richesse et abondance totales, abondance des espèces de pré salé/sansouire, richesse en espèces adventices des rizières ;
- sur la mare B5, il n’existe plu, sur les seuls quadras décapés aucune corrélation entre l’altitude et les variables de richesse et d’abondance des différents types de végétation.

3.2.3 Différence de richesse et d’abondance de la banque de graines entre transects d’une même mare.

Aucune différence entre transects n'a été mise en évidence sur la mare du Clos des vaches ni celle de de Mas neuf Ouest. Par contre, des différences sont apparues entre les transects de Mas neuf Est, portant sur l’abondance des espèces de rizière ($chi^2 = 6,2722$, $df = 2$, $p < 0,05$) et sur la richesse en espèces de mare temporaire/rizière ($chi^2 = 9,1429$, $df = 2$, $p < 0,05$) (Tab. 3 et Fig. 58 et 59).

Tab. 3 : Résultats du post-hoc du test de Kruskal-Wallis sur la différence entre les trois transects de MNE

Test	Chi-squared	p-value	df
Ab R MNEb/MNEj	0,279	0,043	2
Rich MT-R MNEb/MNEj	0,040	0,010	2
Rich MT-R MNEb/MNEr	0,040	0,010	2

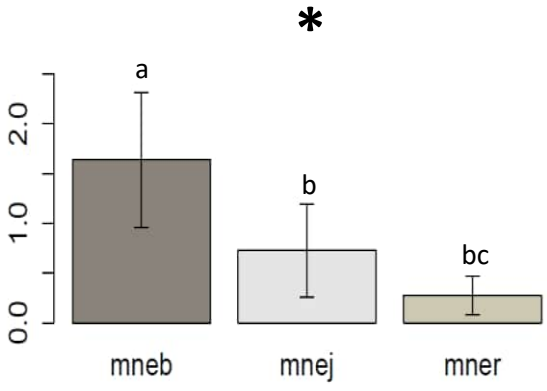


Fig 58 : Comparaison des 3 transects de Mas neuf Est (MNE) sur la richesse en espèces de mare temporaire-rizière ((* : p < 0,05 ; ** : p < 0,01 ; *** : p < 0,001), (mneb : transect blanc de MNE, mnej : transect jaune de MNE et mner : transect rouge de MNE)

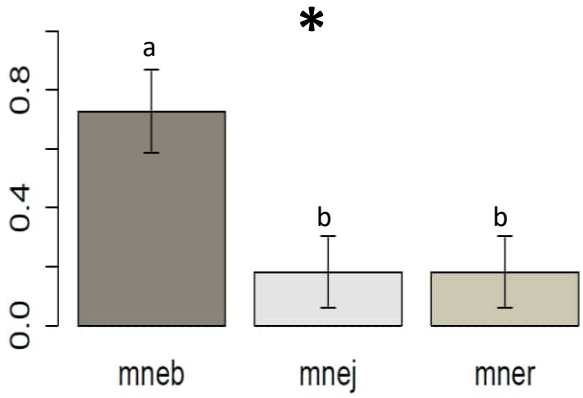


Fig 59 : Comparaison des 3 transects de Mas neuf Est (MNE) sur l'abondance en espèces de rizière (* : p < 0,05 ; ** : p < 0,01 ; *** : p < 0,001), (mneb : transect blanc de MNE, mnej : transect jaune de MNE et mner : transect rouge de MNE)

Au sein de la mare A5 des différences entre transects s'observent au niveau de l'abondance des espèces de mares temporaires/rizières($F = 3,1$, $ddl = 4$, $p < 0,05$), et de leur richesse spécifique ($F = 8$, $ddl = 4$, $p < 0,0001$), ainsi qu'au niveau de l'abondance des espèces de mare temporaire / pré salé ($F = 2,9$, $ddl = 4$, $p < 0,05$) et de leur richesse spécifique ($F = 2,5$, $ddl = 4$, $p < 0,05$).

Au sein de la mare B5, des différences entre transects s'observent au niveau de l'abondance des espèces de mare temporaire ($F= 2,5$, $ddl = 4$, $p < 0,05$) et de la richesse spécifique totale par quadra ($F = 2,6$, $ddl = 4$, $p < 0,05$).

3.2.4 Relations entre les germinations de la banque de graines et la végétation en place des mares

Pour les 3 mares du Clos des vaches et de Mas neuf, le prélèvement des sédiments a été effectués à l'automne 2014 (creusement en automne 2014) avant le premier cycle d'inondation, l'étude des relations entre végétation exprimée et banque de graines inondée n'a pu être effectuée, elle est cependant présentée, à titre indicatif.

3.2.4.1 Mare A5

Pour la mare A5, le test de Spearman met en évidence une corrélation entre végétation et banque de graines pour :

- l'abondance totale ($t(N-2)=4,6$, $p < 0,001$, $rho = 0,8$) et la richesse spécifique totale ($t(N-2)=4$, $p < 0,001$, $rho = 0,6$) (Fig. 60) ;

- l'abondance en espèces de pré salé / sansouire (t(N-2) = 6,1, p < 0,00001, rho = 0,78) et la richesse en espèce de pré salé / sansouire (t(N-2) = 3,8, p < 0,001, rho = 0,6) ;
- l'abondance en espèces de mares temporaires /pré salé (t(N-2) = 4,6, p < 0,001, rho = 0,68) et la richesse en espèces de mares temporaires / pré salé (t(N-2) = 4,6, p < 0,001 , rho = 0,68).
Plus on s'éloigne du centre de la mare, plus les valeurs de ces variables augmentent (Fig. 61).

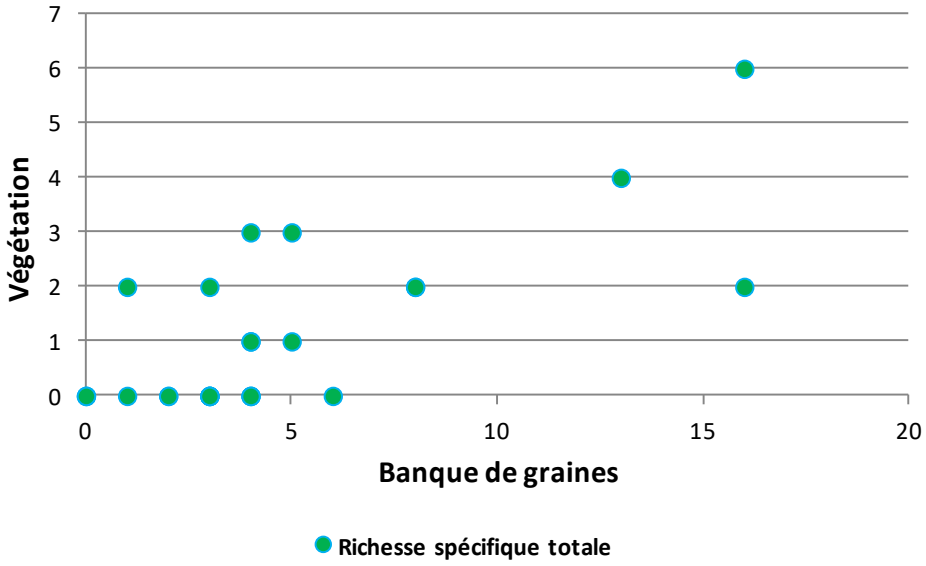


Fig. 60. Richesse de la végétation en fonction de la richesse de la banque de graine dans la mare A5

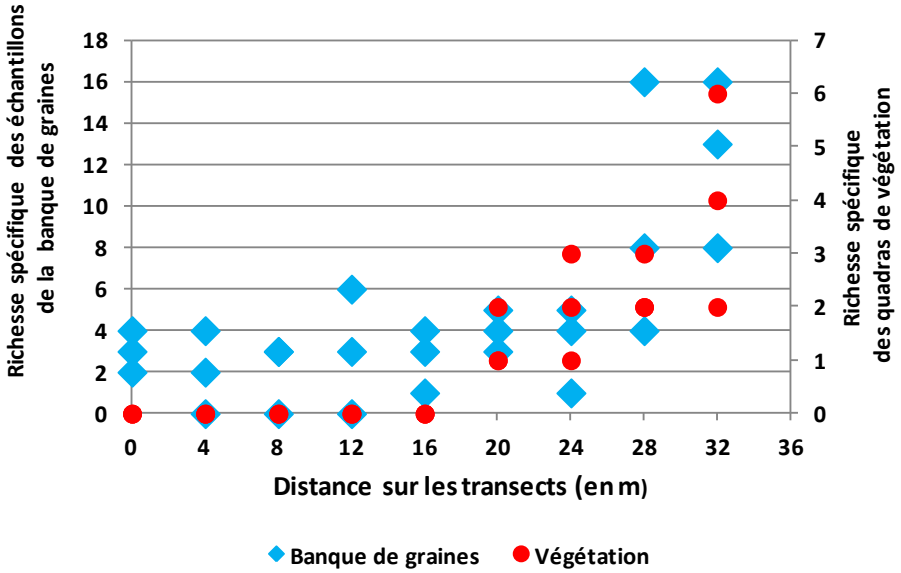


Fig. 61. Richesse de la végétation et de la banque de graines en fonction de la distance au centre de la mare, dans la mare A5

3.2.4.2 Mare B5

Pour la mare B5, le test de Spearman met en évidence une corrélation entre végétation exprimée et banque de graines pour :
- l'abondance totale ($t(N-2) = 3,4$, $p < 0,01$, $rho = 0,56$) et la richesse totale ($t(N-2) = 3,2$, $p < 0,01$, $rho = 0,54$) par échantillon ; l'abondance des espèces de prés-salés/sansouire ($t(N-2) = 2,7$, $p < 0,05$, $rho = 0,47$) et la richesse de ces mêmes espèces ($t(N-2) = 2,5$, $p < 0,05$, $rho = 0,45$) (Fig. 62).
Plus on s'éloigne du centre de la mare, plus les valeurs de ces variables augmentent (Fig. 63).

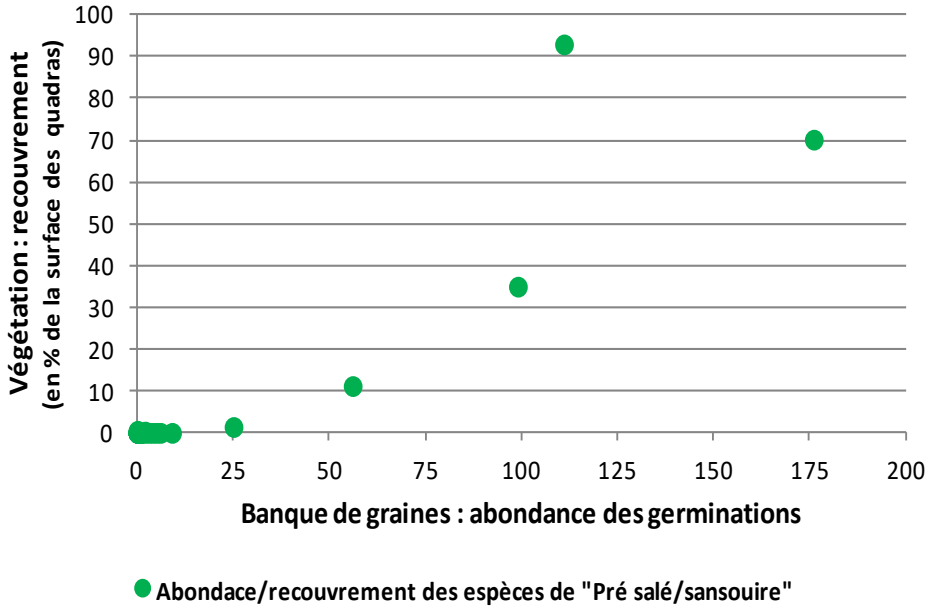


Fig. 62. Recouvrement par quadra de la végétation de pré salé/sansouire en fonction de l'abondance des germinations par échantillon de la banque de graines dans la mare B5

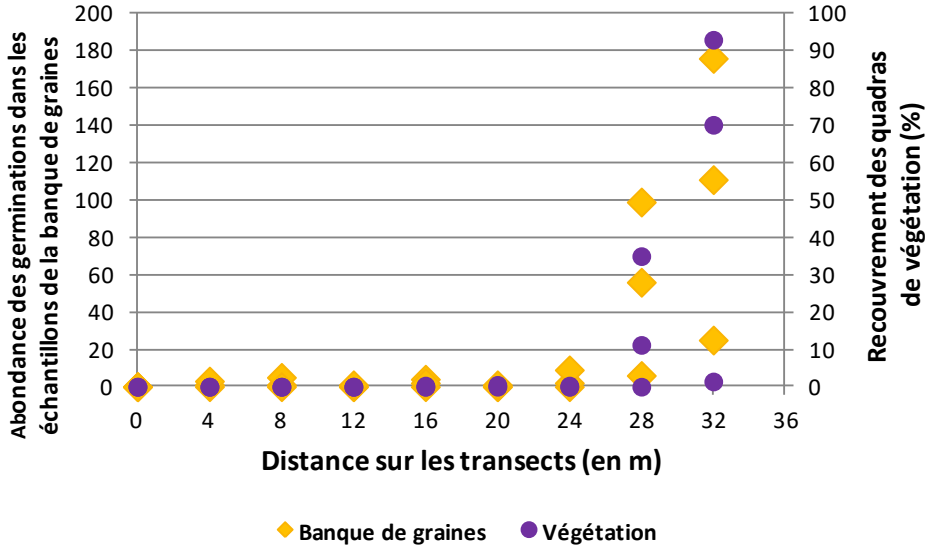


Fig. 63. Recouvrement par quadra de la végétation de pré salé/sansouire, et abondance des germinations d'espèces de pré salé/sansouire par échantillon de la banque de graines, en fonction de la distance au centre de la mare, dans la mare B5

Remarque :

Les relations entre banque de graines et végétation exprimée dans la mare diffèrent des résultats précédents si l'on exclut des analyses les derniers quadras et échantillons des transects, situés en zone non décapée :
- pour la mare A5, tous les tests sont non significatifs à l'exception de la richesse totale ($S = 1134.1$, $p < 0,05$, $rho = 0,44$) et de l'abondance des espèces de prés-salés/sansouire ($S = 784.4$, $p < 0,01$, $rho = 0,61$;
- sur la mare B5 plus aucun test n'est significatif, indiquant qu'il n'y a aucune corrélation entre la végétation exprimée et celle de la banque de graine sur les quadras décapés.

3.2.4.3 Mare du Clos des vaches

Dans la Mare du Clos des vaches, des corrélations s'observent entre les recouvrements par quadra de la végétation en place et l'abondance des germinations par échantillon de la banque de graines :
- pour la totalité des espèces ($t(N-2) = 5,6$, $p > 0,00001$, $rho = 0,71$),
- pour les espèces de pré salé/sansouire ($t(N-2)=4,9$, $p < 0,0001$, $rho = 0,66$) (Fig. 64),
- pour les espèces de mares temporaires / rizières ($t(N-2)=5,4$, $p < 0,00001$, $rho = 0,7$).

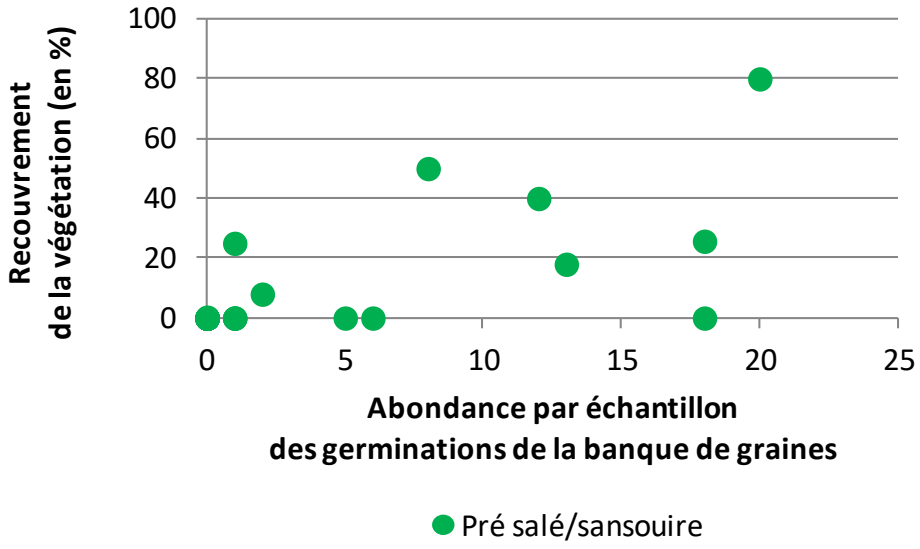


Fig. 64. Relation entre le recouvrement de la végétation des quadras par les espèces de pré salé /sansouire et l'abondance des germinations de ces espèces, dans la mare du Clos des vaches.

La valeur des variables corrélées augmente avec l'altitude, c'est-à-dire avec l'éloignement au centre de la mare (Fig. 65).

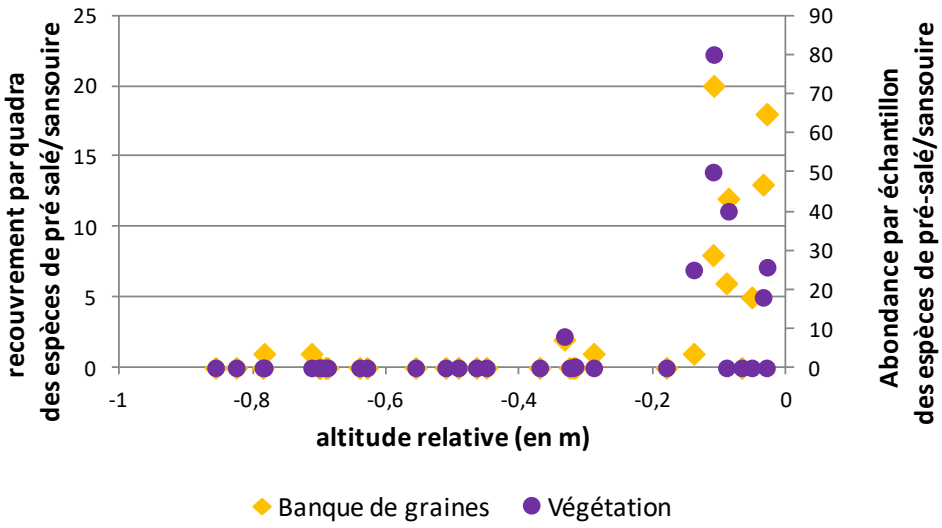


Fig. 65. Variation avec l'altitude de deux variables corrélées : le recouvrement des quadrats par les espèces de pré salé / sansouire, et de l'abondance de germinations de ces espèces dans la banque de graines, pour la mare du Clos des vaches.

3.2.4.4 Mare de Mas neuf Est

On observe pour cette mare une corrélation faible mais significative entre la richesse de la banque de graine en espèces de pré salé/sansouire et celle de la végétation en place ($t(N-2 = 2,4$, $p < 0,05$, $rho = 0,4$) (Fig. 66).

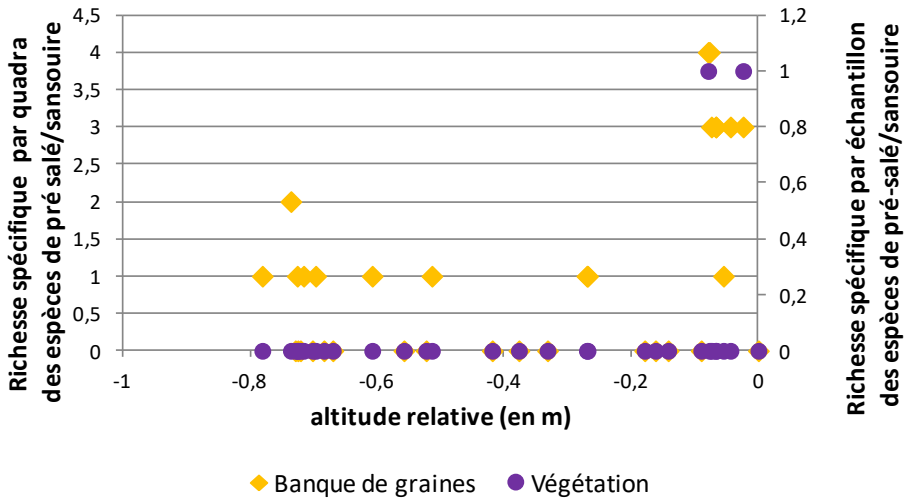


Fig. 66. Recouvrement par quadra de la végétation de pré salé/sansouire, et abondance des germinations d'espèces de pré salé/sansouire par échantillon de la banque de graines, en fonction de l'altitude relative

3.2.4.5 Mare de Mas neuf Ouest

Il n'existe aucune corrélation pour cette mare entre la banque de graines et la végétation exprimée.

3.2.5 Dynamique de la végétation des mares A5 et B5 entre 2014 et 2015

3.2.5.1 Dynamique de la végétation de la mare A5 entre 2014 et 2015

Entre 2014 et 2015, le recouvrement des quadras par les espèces de pré salé / sansouire diminue significativement dans la mare A5 ($F = 8,6$, $ddl = 1$, $p < 0,01$) de même que la richesse en espèce de pré salé / sansouire ($F = 8,2$, $ddl = 1$, $p < 0,01$). Les autres variables ne diffèrent pas entre ces deux années.

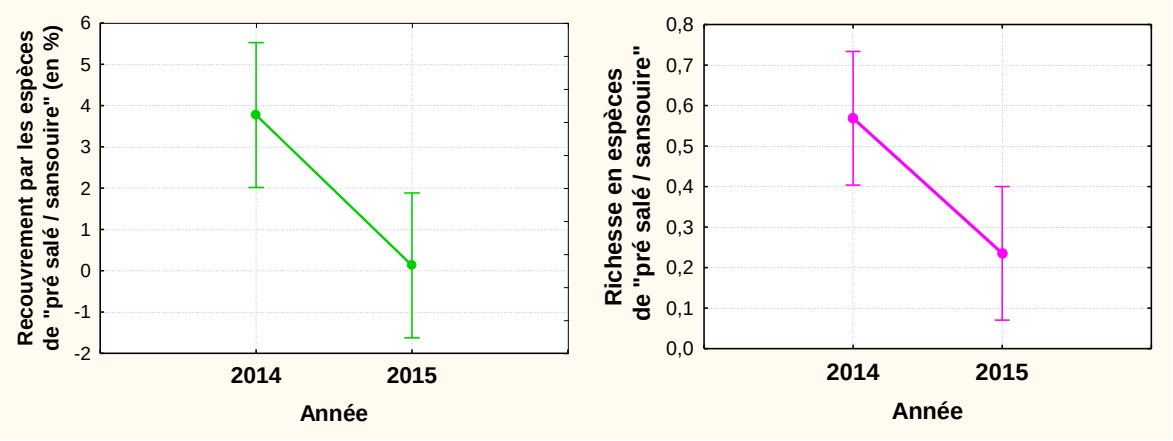


Fig. 67

3.2.5.2 Dynamique de la végétation de la mare B5 entre 2014 et 2015

Entre 2014 et 2015, seule la richesse des quadras en espèces de mare temporaire / rizière augmente significativement ($F = 5,6$, $ddl = 1$, $p < 0, 05$), les autres variables restant stables.

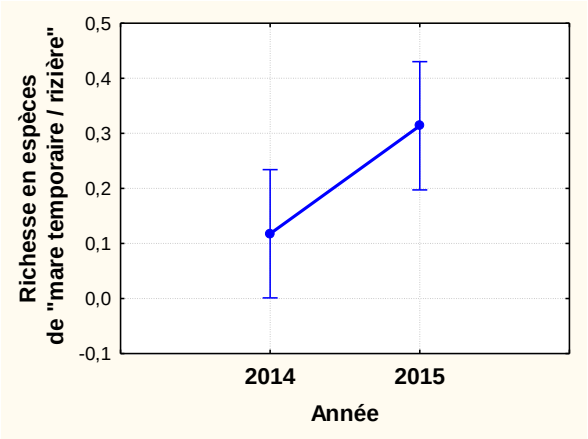


Fig. 68

3.2.6 Comparaison des mares A5 et B5

3.2.6.1 En 2014

Dans la mare B5, le recouvrement des quadras par les espèces de mare temporaire est plus élevé que dans la mare A5 ($F = 4,1$, $ddl = 1$, $p < 0,05$).

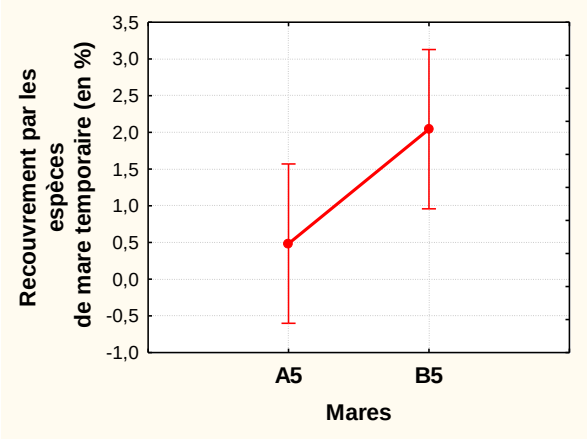


Fig. 69. Comparaison des Mares A5 et B5 en 2014 pour le recouvrement par quadra par les espèces des mares temporaires

. Dans la mare A5, le recouvrement des quadras par les espèces de « mare temporaire / pré salé » est plus élevée que dans la mare B5 (,F = 11,1, ddl = 1, p < 0,01), de même que la richesse de ces espèces (F = 23,3, ddl = 1, p < 000001), des espèces qui ne sont pas présentes sur B5

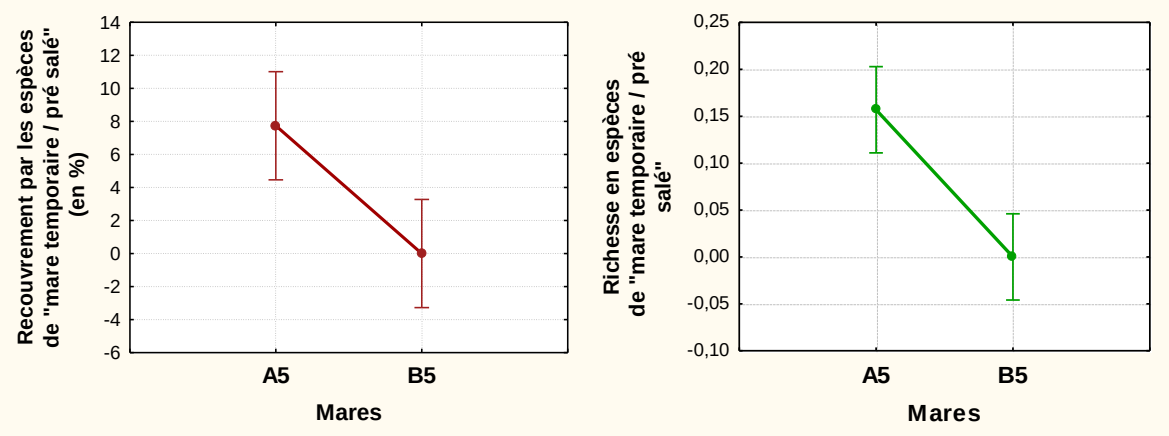


Fig. 70 Comparaison des mares A5 et B5 en 2014, pour la richesse et le recouvrement quadra par les espèces de mares temporaires / pré salés

3.2.6.2 En 2015

Dans la mare B5, comme en 2014, le recouvrement par les espèces de mares temporaires est supérieur à celui de mare A5 (F = 4,7, ddl = 1, p < 0,05).

En 2015, le recouvrement des quadras dans la mare B5 par les espèces de « pré salé / sansouire » devient supérieur à celui de la mare A5 (F = 6,2, ddl = 1, p < 0,05), consécutivement à la baisse de cette variable dans la mare A5 entre 2014 et 2015, ; par ailleurs, la richesse totale des quadras devient supérieure dans cette mare à celle des quadras de la mare A5 (F = 4,3, ddl = 1 , p < 0,05), ainsi que la richesse en espèces de mares temporaires (F = 6,4, ddl = 1, p < 0,05), et la richesse en espèces adventices des rizières (F = 4, ddl = 1, p < 0,05).

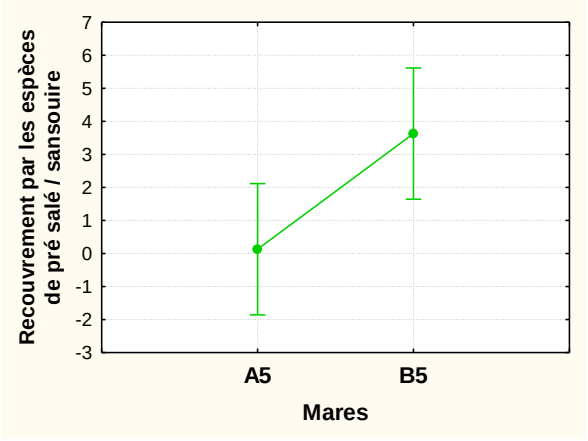


Fig. 71. Comparaison des mares A5 et B5 en 2015 pour le recvouvrement par quadra des espèces de pré salé/sansouire

. Dans la mare A5, comme en 2014, le recouvrement des quadras par les espèces de « mare temporaire / pré salé » est supérieure à celui de la mare B5 ($F = 26,8$, ddl = 1, $p < 0,00001$) ainsi que la richesse de ces espèces ($F = 21,6$, ddl = 1, $p < 0,0001$).

3.2.7 Comparaison des mares de Mas neuf Est et Ouest

Ces deux mares ont en commun une extrême pauvreté de la végétation en place, et son très faible recouvrement

3.2.8 Discussion/conclusion

3.2.8.1 Banque de graines

a) Résultats généraux

On observe entre les banques de graines des mares assez peu de différence de richesse spécifique (entre 18 et 31 espèces, soit un rapport de 1 à 1,7, A5 et B5 étant les plus riches avec 28 et 31 espèces), mais de grandes différences d'abondance de germinations (rapport de 1 à 30); les mares A5 et B5 sont les deux mares dont les banques de graines sont les plus abondantes (respectivement 1323 et 1129 germinations, dans27 échantillons pour chacune des mares), et les mares de Mas neuf Ouest, Mas neuf Est et du Clos des vaches celles dont les banques de graines sont les moins abondantes (respectivement 110, 127 et 200 germinations sur 33 échantillons par mare).

Les espèces de pré salé / sansouire sont dominantes en richesse et abondance dans les cinq mares ; elles expriment l'histoire récente des parcelles, actuellement occupées soit par une végétation de pré salé dominant et de sansouire (mares A5 , B5 et Clos des vaches) soit par une végétation de sansouire dominante (mares de Mas Neuf), végétations également présentes au niveau des mares avant creusement.

Les espèces adventices des rizières sont en deuxième place les plus riches et les plus abondantes ; elles révèlent une histoire plus ancienne des parcelles, autrefois cultivées en rizières. L'arrosage des échantillons des banques de graines par l'eau douce a lessivé le sel des sédiments et favorisé l'expression de ces espèces non ou peu halophiles qui ne sont pas observées, ou très peu, au sein de la végétation en place en conditions plus salées.

Les espèces cibles, celles des mares temporaires, sont encore peu nombreuses et peu abondantes dans ces mares jeunes ; le creusement des mares est en effet encore trop récent pour que la dynamique d'installation de ces espèces soit détectable par les analyses. La présence dans les banques de graines d'une espèce de marais temporaire saumâtre, le Crypsis en aiguillon *Crysis aculeata*, est liée à sa présence dans la végétation avant creusement et autour des mares.

b) Relations entre l'altitude et les variables de la banque de graines

Les espèces les plus nombreuses et les plus abondantes des banques de graines, en l'occurrence les espèces de pré salé / sansouire, sont aussi celles dont les variables de richesse et d'abondance sont le mieux corrélées avec l'altitude. Ces corrélations sont toutes positives : richesses et abondances augmentent de valeur quand l'altitude augmente, avec l'éloignement au centre de la mare et donc la diminution de la profondeur de creusement.

Dans le contexte de ces mares jeunes, récemment creusées, ces résultats corroborent le fait que de manière générale, en un point donné, les banques de graines sont moins riches et moins abondantes en profondeur dans le sol qu'en surface : en bordure des cinq mares, les banques de graines des échantillons prélevés sont plus proches de la surface que les échantillons prélevés au centre, elles sont aussi plus riches et/ou plus abondantes qu'au centre et elles expriment principalement la végétation en place sur l'emprise de la mare avant creusement.

Il en serait autrement d'une mare temporaire mature : au cours du temps, la richesse spécifique de la banque de graines tend à augmenter en un point donné avec l'installation des espèces de mare-temporaire ; néanmoins, elle est toujours de plus en plus faible le long du gradient topographique vers le centre de la mare car les périodes d'inondation de plus en plus longues sélectionnent un nombre d'espèces adaptées de plus en plus réduit ; mais l'abondance de ces espèces dans les banques de graines peut devenir élevée, même au centre de la mare, en raison du développement de populations importantes alimentant la banque de graines.

Les mares A5 et B5 montrent les corrélations les plus nombreuses et les plus fortes entre l'altitude et les variables de la banque de graines : leurs banques de graines sont particulièrement riches et abondantes en limite des mares, à la fois dans la catégorie des espèces de pré salé / sansouire et celle des espèces adventices des rizières. Les mares de Mas neuf, dont les banques de graines sont peu abondantes, montrent peu de corrélations entre variables de la banque de graines et altitude, et quand ces corrélations existent, elles sont faibles.

Tab 4. Corrélations entre les variables de la banque de graines et l'altitude relative dans les cinq mares

Variables / Mare	A5	B5	Clos des vaches	Mas neuf Est	Mas neuf Ouest
Abondance totale	****	*	(*)	ns	ns
Richesse totale	**	*	(*)	ns	(*)
Abondance pré salé /sansouire	****	*	(*)	(*)	ns
Richesse pré salé / sansouire	**	*	(*)	(*)	ns
Abondance rizières	***	*	ns	ns	ns
Richesse rizières	***	*	ns	ns	ns
Abondance mare temporaire / rizière	ns	ns	ns	(*)	ns
Richesse mare temporaire / rizière	ns	ns	ns	(*)	ns
Abondance mare temporaire / pré salé	(*)	ns	ns	ns	ns
Richesse mare temporaire / pré salé	(*)	ns	ns	ns	ns
Abondance mare temporaire	ns	ns	ns	ns	ns
Richesse mare temporaire	ns	ns	ns	ns	ns
Abondance nitrophiles	ns	ns	ns	ns	ns
Richesse nitrophiles	ns	ns	(*)	ns	ns

ns : non significatif - (*) : $p < 0,05$ - * : $p < 0,01$ - ** : $p < 0,001$ - *** : $p < 0,0001$ - **** : $p < 0,00001$

3.2.8.2 La végétation des mares

Surface végétalisée
Les cinq mares, récemment creusées, sont encore peu à très peu végétalisées (Tab. 4).

Tab. 5. Pourcentage de la surface totale des quadrasvégétalisée, inondée, non inondée ni végétalisée à la date des relevés de végétation.

Mares	% surface végétalisée	% surface inondée (jamais végétalisée)	% surface non inondée non végétalisée
Mas neuf Ouest	1,1	45	53,9
Mas neuf Est	2,3	39	58,7
B5	8,6	11,8	79,6
A5	11,7	40	48,3
Clos des vaches	16	16	68

Richesse
La végétation observée dans les cinq mares est beaucoup moins riche (1 à 14 espèces selon les mares) que celle de leurs banques de graines respectives (18 à 31 espèces selon les mares). Ce décalage est très important dans les mares de Mas neuf dont la végétation en place est riche d'une unique espèce alors que leurs banques de graines sont riches de 18 espèces ; ce rapport est beaucoup plus faible pour les autres mares, compris entre 1 à 2 et 1 à 3. Plusieurs facteurs peuvent être en cause :

- l'impossibilité de germer en conditions saumâtres (filtre environnemental) pour les adventices des rizières présentes dans les banques de graines,
- la très longue durée d'inondation en 2015 d'une grande partie de la surface des cinq mares, qui n'a pas rendu possible la germination avant le 31 juillet (date des relevés) de certaines espèces terrestres et amphibies des banques de graines.

Dominance de la végétation de pré salé/sansouire
Comme dans les banques de graines, les espèces de pré salé / sansouire dominent en richesse dans la végétation des cinq mares, elles y dominent aussi en recouvrement, sauf dans la mare A5 où domine une espèce de mare temporaire / pré salé (*Aeluropus littoralis*).

3.2.8.3 Relation entre banques de graines et végétation

Les filtres environnementaux agissent plus ou moins fortement sur l'expression de la banque de graines au sein de la végétation des mares : les espèces des rizières, dont les semences sont conservées depuis des décennies au sein des sédiments ne s'expriment pas dans la végétation en raison des conditions saumâtres; à l'inverse, de telles conditions sont favorables à l'expression de la végétation des espèces de prés salé/ sansouire, de mare-temporaire et de mare temporaire / pré salé de la banque de graines. La végétation des mares est plus riche et plus abondante près des bordures de la mare, pour deux raisons : les banques de graines y sont plus riches, et la période d'inondation, plus courte qu'au centre de la mare, est favorable à la germination des espèces terrestres/amphibies.

Tab. 6. Relations entre banques de graines et végétation exprimée pour les cinq mares

Variables / Mares	A5	B5	Clos des vaches	Mas neuf Est	Mas neuf Ouest
Abondance totale	*****	*	****	ns	ns
Richesse totale	**	*	ns	ns	ns
Abondance pré salé /sansouire	****	(*)	***	ns	ns
Richesse pré salé / sansouire	**	(*)	ns	(*)	ns
Abondance rizières	ns	ns	ns	ns	ns
Richesse rizières	ns	ns	ns	ns	ns
Abondance mare temporaire / rizière	ns	ns	ns	ns	ns
Richesse mare temporaire / rizière	ns	ns	ns	ns	ns
Abondance mare temporaire / pré salé	****	ns	ns	ns	ns
Richesse mare temporaire / pré salé	**	ns	ns	ns	ns
Abondance mare temporaire	ns	ns	****	ns	ns
Richesse mare temporaire	ns	ns	ns	ns	ns
Abondance nitrophiles	ns	ns	ns	ns	ns
Richesse nitrophiles	ns	ns	ns	ns	ns

ns : non significatif - (*) : p < 0,05 - * : p< 0,01 - ** : p < 0,001 - *** : p < 0,0001 - **** : p < 0,00001 - ***** : p < 0,000001

3.2.8.4 Dynamique de la végétation des mares A5 et B5

La mare A5 voit sa richesse en espèces de prés salés/sansouire et leur abondance diminuer significativement entre 2014 et 2015, les autres variables restant stables, ce qui peut être mis en relation avec l'étrépage en 2015 de la végétation de pré salé sur la parcelle de la mare A5.
Sur B5, la richesse en espèces de mares temporaire/rizière augmente significativement entre les deux années sans doute en relation avec l'apparition du scirpe maritime dans plusieurs quadras de végétation en 2015, tandis que les autres variables restent stables.

3.2.8.5 Comparaison de la végétation des mares A5 et B5

La proximité des mares A5 et B5 rend pertinente leur comparaison.
En 2014 et 2015, l'abondance et la richesse des espèces de mare-temporaire/pré salé par quadra est plus élevée dans la mare A5, en relation avec la présence de l'Aélurope du littoral *Aeluropus littoralis* abondante sur A5 seulement.
En 2014 et en 2015, l'abondance des espèces de mare temporaire par quadra est plus élevée dans la mare B5, en relation avec des recouvrements plus importants du Crypsis en aiguillon *Crypsis aculeata* dans cette mare.
En 2015, en raison de l'étrépage de la végétation de pré salé dans la mare A5, l'abondance des espèces de pré salé/sansouire par quadra devient supérieure dans la mare B5 à celle de la mare A5, alors qu'elle était supérieure dans la mare A5 en 2014.
En 2015, les variables suivantes deviennent également supérieures en 2015 sur B5, alors qu'elles étaient équivalentes en 2014 dans les deux mares :
- la richesse totale par quadra
- la richesse en espèces de mares temporaires, représentée par une seule espèce, le Crypsis en aiguillon, *Crypsis aculeata* qui a une dynamique plus importante sur B5 (présence dans 23 quadra en 2015 contre 15 en 2014), que sur A5 (présence dans 13 quadras en 2015 contre 10 en 2014, Fig. 72).
- la richesse en espèces adventices des rizières, sans doute en raison d'une légère extension sur B5 du Chiendent d'eau *Paspalum distichum*, une espèce absente de la mare A5.

3.2.8.6 Comparaison des mares de Mas neuf Est et Ouest

Ces deux mares ont toutes deux en commun des banques de graines de richesse moyenne (18 espèces) qui contrastent avec la très faible richesse de la végétation, de type sansouire (une seule espèce dans chaque mare). Ce décalage très important entre banque de graines et végétation semble dû à une salinité élevée de l'eau et des sédiments (la sansouire domine la végétation des deux parcelles) ainsi qu'à une très longue période d'inondation, la majeure partie de la surface de ces deux mares étant encore inondées au 31 juillet 2015.

3.2.8.7 Focus sur les espèces de mares temporaires

On relève, dans les banques de graines de trois des cinq mares, 3 espèces caractéristiques d'une inondation temporaire de l'automne au début du printemps : le Crypsis en aiguillon *Crypsis aculeata* (mares du Clos des vaches, A5 et B5) Le Jonc des crapauds *Juncus bufonius* (mare A5) et la Renoncule de Baudot *Ranunculus peltatus* subsp. *baudotii* (mares A5 et B5).

Seul le Crypsis en aiguillon s'observe dans la végétation, celle des mares A5 et B5 ; il montre entre 2014 et 2015 un début de dynamique dans ces deux mares (augmentation du recouvrement total et de la fréquence, Fig. 72).

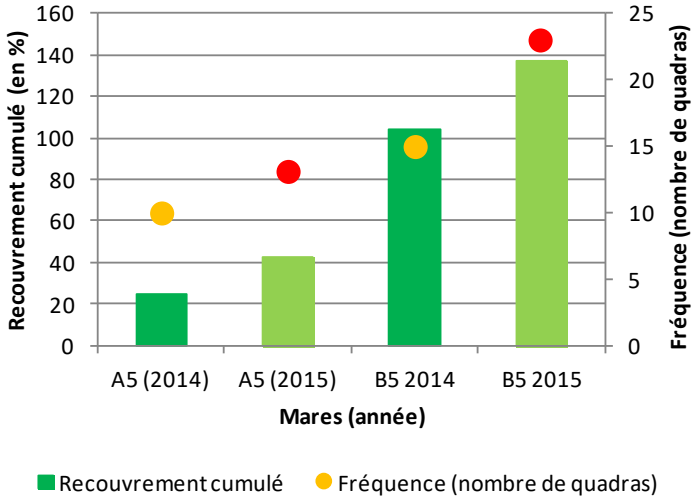


Fig. 72. Dynamique du Crypsis en aiguillon *Crypsis aculeata* dans les mares A5 et B5 entre 2014 et 2015

3.2.8.8 Conclusion

Les résultats obtenus au cours de cette étude montrent que deux des cinq mares, les mares A5 et B5, ont de réelles potentialités de colonisation par des espèces de mares-temporaires : elles possèdent dans leurs banques de graines une espèce hautement caractéristique de l'habitat « Mares temporaires méditerranéennes », le Crypsis en aiguillon, qui a trouvé dès le premier cycle hydrologique des conditions favorables lui permettant de s'exprimer dans la végétation de ces mares (en 2014), et montre même une tendance à l'extension lors du second cycle hydrologique (en 2015). Cette espèce est également présente dans la banque de graines du Clos des vaches mais elle n'a pas trouvé son expression dans la végétation en 2015.

Au vu de l'inondation très tardive des mares, même lors d'années à pluviométrie moyenne, Tab. 5) il semble que la taille des bassins versants des cinq mares soit surdimensionnée en regard de la capacité volumétrique des mares. Des conditions d'assec tardif comme celles observées en 2014 et 2015 (assec estival et non printanier) peuvent s'avérer défavorables à la dynamique des espèces amphibies caractéristiques des mares temporaires, par contre elles peuvent s'avérer favorables à la dynamique d'espèces indésirables à caractère invasif comme le Chiendent d'eau *Paspalum distichum*, présent dans la végétation de la mare B5, et dont l'extension est à surveiller.

5. Étude de *Lestes macrostigma* : biologie, écologie et colonisation des mares restaurées

5.1. Étude des plantes servant à la ponte de *L. macrostigma* et de la survie des œufs dans différentes conditions biotiques et abiotiques.

L'analyse et la publication des données acquises précédemment par la SfO dans la RNN des Marais du Vigueirat se sont poursuivies et des expérimentations complémentaires ont été menées. Dans ce cadre, deux articles ont été publiés et trois autres sont sur le point d'être soumis.

- Lambret P., Besnard A. & Matushkina N. (2015a). Initial preference for plant species and state during oviposition site selection by an odonate. *Entomological Science* (18): 377-382.
- Lambret P., Besnard A. & Matushkina N. (2015b). Plant preference during oviposition in the endangered dragonfly *Lestes macrostigma* (Odonata: Zygoptera) and consequences for its conservation. *Journal of Insect Conservation* 19: 741-752.
- Lambret P., Hilaire S., & Stoks R. (soumis) Hatching success and phenology of the endangered damselfly *Lestes macrostigma* in brackish temporary ponds. *International Journal of Odonatology*.
- Matushkina N., Lambret P. & Gorb S. (en préparation) Keeping the Golden Mean: plant stiffness and anatomy as proximal factors driving oviposition site selection in an endophytic dragonfly. Revue visée : *Animal Behaviour* ou *Zoology*.
- Lambret P., Rutter I. & Vilain A. (en préparation) Consistency between life-history stages of oviposition plant preference in a predatory insect. Revue visée : *Oikos.*

Ces travaux traitent de la préférence pour certaines espèces de plante chez *Lestes macrostigma* lors de la ponte. Principale question posée était : existe-t-il une préférence réelle pour le Scirpe maritime *Bolboschoenus maritimus* comme le (sous-)entendait la littérature ?

Pour répondre à cette question, nous avons tout d'abord décomposé le processus de ponte en plusieurs étapes et composantes et les "performances" dans le Scirpe maritime comparées à celles dans d'autres substrats de ponte.
Il s'avère que, globalement, le Scirpe maritime arrive en "pole position" parmi les substrats étudiés. Cependant, si l'on s'intéresse au rendement d'oviposition (c'est-à-dire au nombre d'œufs pondu à l'heure), celui du Scirpe maritime arrive à égalité avec celui des tiges mortes de Jonc maritime *Juncus maritimus*. Ceci est principalement dû au fait que les femelles passent beaucoup de temps sur le Scirpe maritime à chercher un endroit convenable à la dépose des œufs. Autrement dit, il existe bel et bien une préférence pour le Scirpe maritime, mais en terme de fitness (dépense énergétique, risque de prédation, temps disponible pour faire autre chose que pondre, comme s'alimenter par exemple) il est tout aussi avantageux de pondre dans les tiges mortes de Jonc maritime.

Ensuite, nous avons étudié cette préférence non plus chez les adultes mais chez les œufs. Nous avons mesuré la survie et la date d'éclosion des œufs en fonction des espèces de plantes dans lesquelles ils ont été pondus. Parallèlement, nous avons étudié les différences anatomiques entre ces différentes espèces de plantes. Pour finir, nous

avons estimé la survie des œufs en fonction non seulement de la date de remise en eau des mares temporaires, mais aussi des températures hivernales.
Nos expériences ont fait apparaitre que la survie des œufs est plus grande et leur éclosion est plus précoce s'ils ont été pondus dans le Scirpe maritime. En revanche, leur survie diminue à mesure que le fait la température de l'eau et à mesure que tarde la date de remise. Nos études anatomiques suggèrent que cette meilleure survie dans le Scirpe maritime est liée à la présence de larges vacuoles aérifères, qui servirait d'isolant aux œufs.
Ainsi, il est hautement probable que, au cours de l'évolution, les préférences des adultes aient été sélectionnées par celles des œufs, non seulement du fait des propriétés intrinsèques du Scirpe maritime, mais aussi du fait que cette plante pousse plutôt dans les points bas des mares temporaires (en comparaison avec les joncs par exemples). En effet, des œufs pondus dans cette espèce de plante auront alors plus de chance d'être remis en eau précocement, souffrant d'autant moins de la dessiccation.
Ces résultats ont des applications directes en termes de conservation de *L. macrostigma* :
- lors d'opérations de restauration d'habitat, on cherchera à ce que les milieux soient colonisés par le Scirpe maritime et par le Jonc maritime en bordure ;
- dans le cadre de la gestion des stations de reproduction connues, on veillera à maintenir ces deux espèces de plantes et à ce que les niveaux d'eau hivernaux soient suffisant pour maintenir les œufs dans l'eau liquide, afin de mes protéger de la dessiccation et des basses températures.

Notons que d'autres facteurs écologiques doivent être déterminants car de fortes densités larvaires peuvent être observées sur des stations marginales où le Scirpe maritime est absent.

5.2. Colonisation des mares par *Lestes macrostigma* et autres odonates

Les mares restaurées aux Marais du Vigueirat ont été visitées le 22 mai 2015 afin de rechercher *Lestes macrostigma* et des indices de reproduction de cette espèce. Sur les mares du Clos des vaches, A5, B5 ainsi que sur les jumelles pâturée/non pâturée, des adultes ont été vus ainsi que des traces de ponte dans *Juncus maritimus* ou *Bolboschoenus maritimus* (Figure 73). Cette colonisation rapide des mares restaurées est vraisemblablement due à la proximité de stations de reproduction pérennes aux Marais du Vigueirat (ex. : Trou du Héron, Rizières de l'Étourneau), aux capacités de dispersion de cette espèce ainsi qu'à sa forte abondance en 2015 à l'échelle du delta du Rhône. Il sera nécessaire de maintenir le suivi en 2016 afin de contrôler si ces tentatives de reproduction auront été couronnées de succès ou non. Les mares de Mas neuf ont été visitées le 12 juin ; *L. macrostigma* n'y a pas été vu, que ce soit à l'état d'adulte ou d'œuf (ponte). Pour autant, cela ne signifie pas que l'espèce n'a pas colonisé ces mares. En effet, les adultes peuvent passer inaperçus une année cependant que l'on pourra observer l'année suivante des émergences, plus faciles à détecter et témoignant du cycle de reproduction complet de l'espèce (11 mois). Par ailleurs, d'autres espèces ont été vues en activité de reproduction sur les mares (ex. : *Crocothemis erythraea*, *Sympetrum fonscolombii*), voire à l'état d'émergence (Figure 74). L'ensemble des mares restaurées sera visitée plusieurs fois en 2016 afin de dresser la liste des espèces d'odonates s'y reproduisant avec succès.



Figure 73. Trace de ponte de *Lestes macrostigma* dans *Juncus maritimus* sur la mare du Clos des vaches (à gauche) et dans *Bolboschoenus maritimus* sur la mare non pâturée (à droite).



Figure 74. Émergence de *Sympetrum cf striolatum* sur la mare jumelle pâturée.

5.3. Influence du pâturage sur les plantes hôtes de la ponte

Aucune espèce de celles utilisées par les femelles de *L. macrostigma* n'avait été observée en 2014. Aussi, ces mares ont été ensemencées par des graines matures de Scirpe maritime *Bolboschoenus maritimus* récoltées le 12 septembre dans la RNN des Marais du Vigueirat. Les graines ont été réparties le long d'un gradient de profondeur dans l'optique de voir cette plante pousser en 2015 quel que soit le niveau d'eau dans la mare (Figure 75). Cet objectif n'a pas été atteint en raison du niveau d'eau plus important qu'attendu. Il pourrait être envisagé de semer de nouvelles graines au niveau de la périphérie de la mare.



Figure 75. Essai de développement de *Bolboschoenus maritimus* dans les mares pâturée / non pâturée : ensemencement en 2014 selon un gradient de profondeur (zone de sol biné, à gauche), absence de développement au profit de celui des algues en 2015 (à droite).

5.4. Perspectives pour 2016

- Poursuite de l'analyse et de la publication des données dans des revues scientifiques.
- Présentation des avancées du programme lors du 4e congrès européen d'odonatologie en Suède.
- Rédaction d'un article de présentation du programme de restauration d'habitat pour *L. macrostigma* dans le hors-série du *Courrier de la nature* consacré aux libellules (juin 2016).
- Bilan des espèces d'odonates se reproduisant dans les mares restaurées.
- Rédaction du rapport final sur le volet odonates.

6. Bibliographie

Andral B., Sargian P., Boissery P., Giraud A., Dutrieux E., Schvartz T., Thorin S., Bouchoucha M., Derolez V., Gonzalez J.L., Laugier T., Miralles F., Munaron D., Sargian P., Sartoretto S., Tomasino C., Amouroux J.-M., Labrune C., Markovic L., Thibaut T., 2010. Directive Cadre Eau. Contrôles de surveillance/opérationnel. District « Rhône et côtiersméditerranéens ». Campagne DCE 2009. 129 p.

Andral B., Sargian P., Boissery P., Giraud A. Dutrieux E., Schvartz T., Thorin S. Andral B., Bouchoucha M., Derolez V.,Gonzalez J.L., Laugier T., Miralles F.,Munaron D., Sargian P., Sartoretto S., Tomasino C., Chery A., Lejeune P., Pelaprat C., Gobert S., Goffart A. Markovic L., Thibaut T., Blanfune A. , 2010b. Directive Cadre Eau. Directive Cadre Eau. Contrôles de surveillance/opérationnel. District « Corse ». Campagne DCE 2009. 99 p.

Andral B., Derolez V. 2007. Directive Cadre Eau - Mise en œuvre du Contrôle de surveillance - Résultats de la campagne 2006 -District Rhône et côtiers méditerranéens. 110p+ annexes.

Andral B. et Orsoni V. 2007. Directive Cadre Eau - Mise en œuvre du Contrôle de surveillance - Résultats de la campagne 2006 - District Corse. 89p+ annexes.

Baehr A., Derolez V., Fiandrino A., Le Fur I., Malet N., Messiaen G., Munaron D., Oheix J., Ouisse V., Roque d'Orbcastel E., Bec B., 2013. Bilan méthodologique de l'outil de

diagnostic de l'eutrophisation RSL. Quatorze années de résultats en Région Languedoc-Roussillon. 279p.

Belin C., Lamoureux A., Soudant D. 2014. Evaluation de la qualité des eaux littorales de la France métropolitaine pour l'élément de qualité Phytoplancton dans le cadre de la DCE. Etat des lieux des règles d'évaluation, et résultats pour la période 2007- 2012. Tome 1 - Etat des lieux, méthodes et synthèse des résultats. 159 p.

Derolez V., Oheix J., Ouisse V., Munaron D., Fiandrino A., Messiaen G., Hubert-Renaud C., Lamoureux A., Malet N., Fortuné M., Berard L., Mortreux S., Guillou J.L. 2015. Suivi estival des lagunes méditerranéennes françaises. Bilan des résultats 2014. IFREMER. 86P.

Derolez V., Ouisse V., Fiandrino A., Munaron D., Bissery C., Kloareg M., 2013.Analyse statistique des données du RSL - Etude des trajectoires écologiques des lagunes entre 2001 et 2012. 41 p.

Efron B., 1995. Le bootstrap et ses applications. C.I.S.I.A., Saint-Mandé, 217 p.

MEDDE, 2015. Mise en œuvre de la directive-cadre sur l'eau Pour un bon état des eaux en 2015.

Sanchez et Grillas, 2014. Mise au point d'un indicateur DCE compatible pour les lagunes oligo et mésohalines. Onema, Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse, Ifremer et Tour du Valat. 80 p.

Sargian P., Andral B., Derolez V. et al. , 2013b. Réseaux de surveillance DCE –Campagne 2012 – District « Corse ». 109 p.

Sargian P., Andral B., Derolez V. et al., 2013a. Réseaux de surveillance DCE –Campagne 2012 – District «Rhône et côtiers méditerranéens ». 132 p

Restauration de mares temporaires méditerranéennes

Suivi de la végétation, hydrologie, colonisation des milieux restaurés par les odonates

ANNEXES

Annexe 1. Etude pédo-hydrologique de la mare du Clos des vaches

Le 28/07/2014, 7 sondages pédo-hydrologiques ont permis de vérifier la profondeur de la nappe au cœur de l'été – et donc la possibilité d'assec –, ainsi que la texture du sol en profondeur (éviter les pertes d'eau des niveaux sableux). La présence d'une couche argileuse, imperméable, en profondeur a permis de valider un creusement à - 80 cm.

N° sondages	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**
Longitude	641820	641851	641839	641796	641829	641864	641901
latitude	4821627	4821640	4821601	4821573	4821685	4821672	4821599
nappe d'eau	**sec**	**5 cm d'eau à -115 cm**	**humide au fond**	**sec**	**15 cm environ à -105 cm**	**20 cm à -100 cm**	**10 cm à -115 m**
0 à -5 cm (surface)	**Limono-sableux**	**Sablo-argileux**	**Argilo-limoneux**	**Argileux**	**Limono-argileux**	**Argileux**	**Limono-sableux**
-20cm	**Sablo-limoneux**	**Argilo-limono-sableux**	**Argilo-limoneux**	**Argileux**	**Argilo-limoneux**	**Argileux**	**Limono-sableux**
-40 cm	**Sablo-limoneux**	**Sablo-limoneux**	**Argilo-limoneux**	**Sablo-limoneux** traces d'oxydo-réduction	**Argilo-limono-sableux** traces d'oxydo-réduction	**Sablo-limoneux**	**Sablo-limoneux**
-60 cm	**Argilo-limoneux**	**Argilo-limoneux**	**Limono-sableux** fin et humide	**Sablo-limoneux**	**Argilo-limoneux**	**Argileux** traces d'oxydo-réduction	**Argilo-limoneux** traces d'oxydo-réduction
-80 cm	**Argileux** traces d'oxydo-réduction	**Argileux** traces d'oxydo-réduction	**Argilo-limoneux** frais	**Argileux** traces d'oxydo-réduction	**Argileux** traces d'oxydo-réduction	**Argileux** traces d'oxydo-réduction	**Argileux** traces d'oxydo-réduction
-100 cm	**Très argileux** traces d'oxydo-réduction	**Argileux** traces d'oxydo-réduction	**Argileux** traces d'oxydo-réduction	**Sablo-limoneux** traces d'oxydo-réduction	**Argileux mouillé** traces d'oxydo-réduction	**Argilo-limoneux** gorgé d'eau	**Argilo-limoneux** humide
-120 cm	**Argileux** traces d'oxydo-réduction	**Argileux** traces d'oxydo-réduction	**Argileux** humide	**Argileux** traces d'oxydo-réduction	**Argileux** gorgé d'eau	**Argileux** gorgé d'eau	**Argileux** gorgé d'eau
-130 cm	**Argileux** traces d'oxydo-réduction		**Argileux** un peu moins				

Longitude et latitude sont exprimées en coordonnées métriques WGS 84, UTM 31 Nord. Les traces d'oxydo-réduction signalent le passage du fer, de l'état ferrique (pendant l'assec) à l'état ferreux (pendant l'inondation) et inversement, traduisant l'existence d'un battement de la nappe.

Annexe 2. Etude pédo-hydrologique des mares de Mas neuf Est et Ouest

Le 08/09/2014, avant le creusement des mares, des sondages pédo-hydrologiques ont été réalisés permettant de vérifier la profondeur de creusement à partir de l'observation du niveau de la nappe et de la texture des sols en profondeur.

Mare Mas neuf EST			
Centre mare		**Bordure sud**	
Profondeur	**textures**	**Profondeur (en cm)**	**textures**
0 à -30 cm (sec)	**Argilo-limoneux** faibles traces d'oxydo-réduction	0 à - 10 cm	**Argilo-limoneux**
-30 à - 55 cm (sec)	**Limono-argileux** nombreuses traces d'oxydo-réduction	-10 à -30	**Argilo-limoneux**
-55 - à 70 cm (sec)	**Argileux** nombreuses traces d'oxydo-réduction	-30 à -45	**Argileux** traces d'oxydo-réduction
-70 à - 85 cm (sec)	**Argileux** nombreuses traces d'oxydo-réduction	- 45 à -70	**Argileux** traces d'oxydo-réduction

Mare Mas Neuf Ouest	
Profondeur	**textures**
0 à - 10 cm (sec)	**Argilo-limoneux** quelques traces d'oxydo-réduction
-10 à -20 cm (frais)	**Argilo-limoneux** quelques traces d'oxydo-réduction
-20 à -35 cm (frais)	**Argilo-limoneux** quelques traces d'oxydo-réduction
- 35 à -50 cm (frais)	**Argilo-limoneux** quelques traces d'oxydo-réduction
-50 à -60 cm (frais)	**Argileux** nombreuses traces d'oxydo-réduction
- 60 à -70 cm (humide)	**Argileux** très nombreuses traces d'oxydo-réduction
- 70 à -80 cm (eau à -70)	**Argileux + eau**
-80 à -85 cm et au-delà (eau)	**Sable pur + eau**

En raison de la présence, sur l'emplacement de la mare de Mas neuf Ouest, de sable en profondeur (ne permettant pas de retenir l'eau) et de la présence d'eau à -70 cm, la profondeur de creusement pour les deux mares du Mas neuf a été préconisée à -60 cm maximum.