

## Aménagement hydraulique du Domaine du Petit Saint-Jean

par les étudiantes de Montpellier SupAgro

Alary Solène, Charles Esther, Corre Chloé, Rouleau Maryl

Mars 2023

## Remerciements

Nous tenons à remercier nos commanditaires, Valentina Alessandria de la chaire Agrosys, ainsi que Nicolas Beck de la Tour du Valat pour l'aide qu'ils nous ont apporté pendant ce projet.

Merci à Karima Hirech de nous avoir permis de nous rendre sur le terrain, ainsi qu'à Alexia pour nous avoir hébergées.

Nous remercions également toutes les personnes ressources, qui nous ont été particulièrement utiles pour la compréhension des enjeux de Mas du Petit Saint-Jean et la rédaction de ce rapport : Loïc Tendron, vigneron du Petit Saint-Jean, Sébastien Loubier ainsi que Christian Lamazère, président de l'ASA du Bourgidou et du Sylveréal.

Enfin, nous remercions chaleureusement nos professeurs, François Colin, Armand Crabit, Julien Fouché et Gilles Belaud pour leur accompagnement et leur expertise.

## Table des matières

<b>Acronymes</b> .....	5
Introduction.....	6
1. Aménagements existants .....	7
1.1. Approvisionnement en eau : ASA du Bourgidou .....	7
1.2. Circulation de l'eau au petit Saint-Jean .....	9
1.2.1. Ouvrages hydrauliques du domaine.....	9
1.2.2. Irrigation des parcelles agricoles du domaine .....	10
2. Aménagements envisagés par le domaine .....	11
2.1. Aménagement 2017 - Entretien des canaux.....	11
2.2. Aménagement 2017 - Création de canaux .....	12
2.2.1. Aménagement des canaux prévus .....	12
2.2.2. Arrêt du projet de 2017 .....	13
2.3. Sollicitation de l'ASA .....	14
3. Comparaison des aménagements possibles.....	14
3.1. Précautions de travaux et d'entretien des aménagements .....	14
3.2. Objectifs des aménagements hydrauliques pour le domaine.....	15
3.3. Types d'aménagements possibles.....	15
3.3.1. Curage des canaux existants .....	15
3.3.2. Creuser de nouveaux canaux .....	19
3.3.3. Martelière .....	22
3.3.4. Drainage enterré .....	23
3.3.5. Submersion.....	26
3.3.6. Irrigation par aspersion .....	27
4. Proposition d'aménagements adaptés au domaine.....	27
4.1. Bilan sur l'ensemble des aménagement hydrauliques .....	27
4.2. Solution optimale préconisée.....	29
4.3. Préconisations avant aménagements .....	33

5. Solutions alternatives .....	34
5.1. Culture de plantes halophytes en inter rang et/ou enherbement permanent.....	34
5.2. Changement de types de cultures.....	34
<b>Bibliographie</b> .....	36

## Table des illustrations :

Figure 1 : Localisation géographique et organisation spatiale du domaine (Tour du Valat, 2023) .....	7
Figure 2 : Dénomination des canaux ceinturant les parcelles agricoles du Petit Saint Jean ..	8
Figure 3 : Position des canaux et ouvrages hydrauliques sur le Petit Saint-Jean.....	10
Figure 4 : Localisation des canaux à entretenir (en 2017) .....	12
Figure 5 : Cartographie des canaux existants et à créer pour le projet 2017 .....	13
Figure 6 : Planification des objectifs de gestion de l'eau (Plan de Gestion Volume II du Petit Saint-Jean (2018-2023) ).....	14
Figure 7 : Etat des infiltrations sans curage.....	16
Figure 8 : Etat des infiltrations après curage .....	17
Figure 9 : Exemple d'échelle millimétrique (Genecq) .....	18
Figure 10 : Carte topographique du domaine (source : Géoportail) .....	19
Figure 11 : Principe d'irrigation de la vigne par un canal non-bétonné .....	21
Figure 12 : Principe d'irrigation de la vigne par un canal bétonné .....	22
Figure 13 : Disposition d'un drain sur une parcelle de 100 m .....	24
Figure 14 : Localisation des zones humides au sein du domaine du Petit Saint Jean (Géoportail (Corine Land Cover)).....	25
Figure 15 : Intérêt des merlons en cas de crue .....	30
Figure 16 : Fonctionnement des drains en hiver.....	31
Figure 17 : Fonctionnement des drains en été .....	32
Figure 18 : Proposition d'aménagement hydraulique .....	33

## Acronymes

**DDAF** : Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt

**DIREN** : Direction Régional de l'Environnement

**CSP** : Conseil européen de la Pêche

**SIG** : Système d'Information Géographique

**PVC** : PolyChlorure de Vinyle

## Introduction

La Camargue est confrontée à des problèmes de salinisation de ses eaux et sols dû à plusieurs phénomènes comme la remontée du biseau salé, la diminution des précipitations, l'augmentation de l'évapotranspiration et vraisemblablement les changements de certaines pratiques (non-entretien des ouvrages hydrauliques, mise en eau avec effets sur les recharges des nappes, ...). Plus généralement, la salinité en zone littorale dans le golfe du Lion est un enjeu pour la durabilité de l'agriculture dans cette région.

Le Domaine du Petit Saint Jean ne fait pas exception et fait face à cette même problématique de salinisation, dû à la fois au contexte pédoclimatique (faible pluviométrie, sol composé à 83% de sable, présence d'une nappe salée), mais aussi à l'absence d'aménagement hydraulique fonctionnel permettant de contourner cette contrainte. Les symptômes observés liés à l'augmentation de la salinité ont été en premier lieu le dépérissement des chênes sur le domaine, puis la disparition de deux espèces d'eau douce : la cistude d'Europe (*Emys orbicularis*) et le crapaud à couteau, (*Pelobates cultripes*) et enfin le dépérissement des vignes. La vigueur des vignes diminue, entraînant souvent la mortalité des plants, une baisse des rendements et une qualité organoleptique diminuée (goût de sel des raisins, mou et jus). Bien que l'incidence du sel soit inégalement répartie, l'ensemble du domaine est à prendre en compte pour contenir ses effets. La salinité des sols est donc un enjeu majeur pour le domaine, puisqu'elle affecte les cultures présentes et à forte valeur ajoutée, en particulier la vigne (20% de mortalité à ce jour).

Les rapports suivants ont été réalisés dans le cadre d'un projet ingénieur de dernière année (spécialisation Biodiversité, Eau, Sol, Climat et Évaluation environnementale). L'étude s'est répartie sur 7 semaines au cours de l'année scolaire, divisée comme suit : un terrain de trois jours pour faire des prélèvements, deux semaines de laboratoire pour traiter et analyser les données et une phase rédactionnelle entrecoupée d'entretiens et de bibliographie pour concevoir les trois rapports.

Ce projet est commandité par la chaire Agrosys en partenariat avec la Tour du Valat, organisme ayant soumis ce projet à la chaire. Les objectifs du projet se répartissent en trois points distincts :

- Procéder à un diagnostic sur le phénomène de salinisation constaté sur l'ensemble du domaine
- Analyser et proposer différentes options d'aménagements hydrauliques pour préserver la vigne mais aussi les autres cultures de la salinisation
- Proposer la mise en place d'un suivi pour évaluer les résultats à moyen terme des aménagements.

Le diagnostic de salinisation permet de faire un état des lieux de la salinité sur le domaine et de comprendre ses dynamiques et sa répartition dans les sols, et dans les différentes masses d'eau. Les aménagements hydrauliques du domaine sont un des leviers principaux de gestion de la salinité. Certains ouvrages nécessitent un entretien ou une remise en état, d'autres pourront être aménagés. Le suivi quant à lui est indispensable pour suivre cette salinité sur le long terme et pouvoir anticiper ses nouveaux effets à la fois à l'échelle annuelle et sur plusieurs années.

Ce présent rapport traite des aménagements hydrauliques envisagés sur le Domaine du Petit Saint Jean.

## 1. Aménagements existants

### 1.1. Approvisionnement en eau : ASA du Bourgidou

Le Petit Saint Jean ainsi que plusieurs exploitations alentour sont approvisionnées en eau par l'Association Syndicale Autorisée (ASA) du Bourgidou. Cette ASA relie le Petit Rhône aux réseaux d'exploitations notamment situées au sud de la D58 jusqu'à Aigues Mortes (Figure 1).

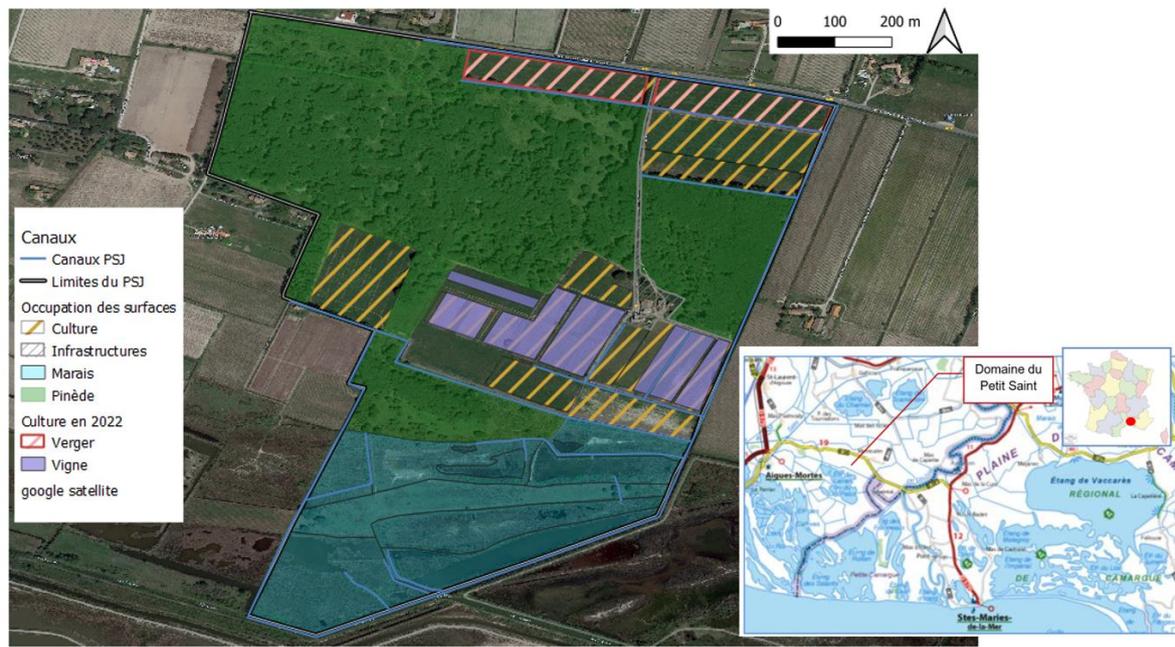


Figure 1: Localisation géographique et organisation spatiale du domaine (Tour du Valat, 2023)

L'ASA du Bourgidou a un règlement sur l'eau (précisé par son président : M. Lamazère lors d'un entretien le 11/03/2023) : en fonction de la culture déclarée (culture viticole, maraichage, grande culture), l'exploitation dispose d'une alimentation en eau donnée. Cependant le volume d'eau disponible sur le domaine est inconnu, il s'agit d'un paiement pour un forfait annuel afin de recevoir de l'eau sans que cette quantité soit mesurée.

La difficulté de la circulation de l'eau en Camargue est causée par la faible topographie. Les écoulements qui dépendent de l'ASA sont gravitaires : c'est le différentiel de niveau, entre deux segments séparés par une martelière qui conditionne le sens d'écoulement. Au sein des réseaux privés (exploitations), il est possible d'avoir une pompe pour faciliter les écoulements.

Pendant les périodes d'irrigation, les exploitations n'ont pas la possibilité d'évacuer les eaux utilisées : des structures de rétention peuvent être nécessaires.

L'ASA draine ses réseaux une fois dans l'année seulement, par inversion des pompes au niveau de la station de pompage de Sylvéréale : les écoulements vont ainsi des parcelles du domaine vers le Petit Rhône. L'alimentation en eau des exploitations est interrompue en hiver notamment pour pallier aux problèmes d'inondations liés aux fortes pluies qui peuvent avoir lieu à ces périodes de l'année. Le réseau sert ainsi de zone d'écrêtement de crues.

Sur le domaine, l'arrivée d'eau douce se fait par le sud, par le canal de la Divisoire qui longe le marais et qui remonte dans le canal Est (canal 5). Il existe plusieurs points d'entrées d'eau gravitaire, il en existe quatre au nord du domaine, sur les parcelles agricoles, qui vont ensuite alimenter les canaux du domaine (étoile jaune, ) et il en existe quatre autres au sud, qui vont alimenter les marais par gravité (étoile blanche, Figure 2). Enfin, une entrée se fait par pompage, pour la pompe solaire.

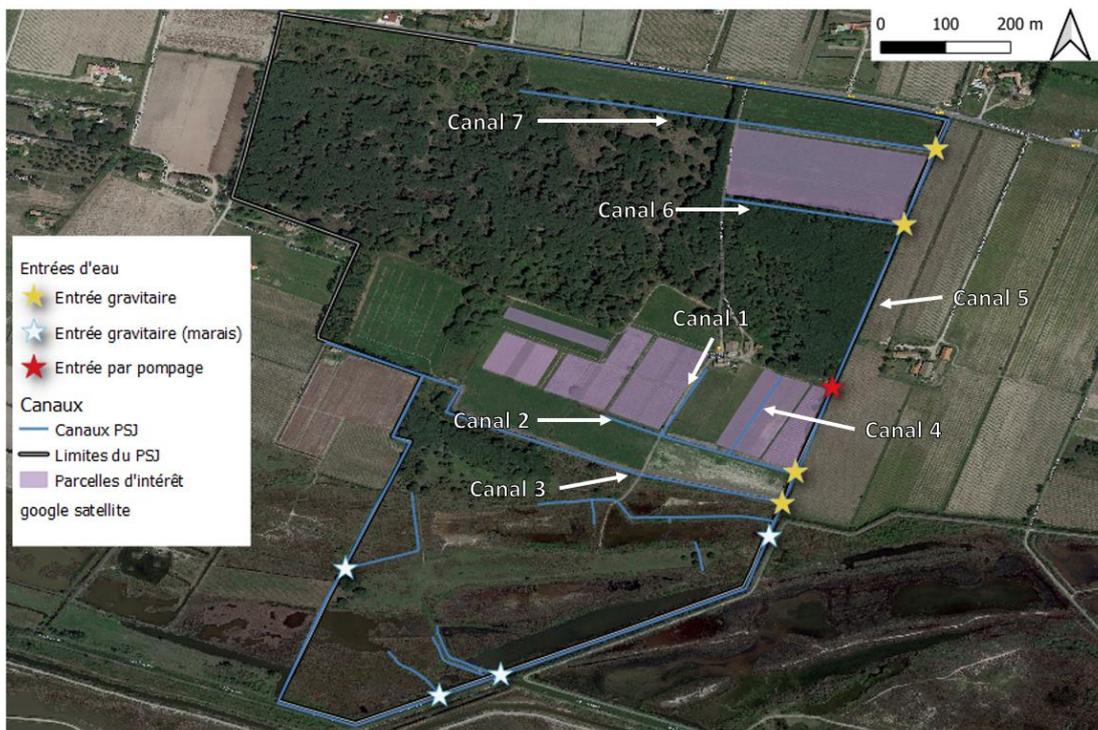


Figure 2 : Dénomination des canaux ceinturant les parcelles agricoles du Petit Saint Jean

## 1.2. Circulation de l'eau au petit Saint-Jean

### 1.2.1. Ouvrages hydrauliques du domaine

Au Petit Saint Jean, près de **7000m de canaux** ceinturent le domaine et les parcelles agricoles. Ce réseau a pour but de faire transiter l'eau distribuée par l'ASA du Bourgidou pendant une partie de l'année. L'ensemble des canaux qui jouxtent les parcelles agricoles (parcelles de vignes et vergers) représentent une longueur d'environ 3200 m. La conductivité de l'eau de ces canaux a été mesurée (Tableau 1) en hiver et a confirmé qu'il s'agissait alors bien d'eau douce.

Tableau 1 : Conductivité des canaux

Canal	Nombre de mesures	Conductivité moyenne (mS/cm)
1	3	0,71
2	2	0,70
3	5	0,72
4	4	0,74
5	3	1,09
6	3	1,22
7	3	0,80

Les ouvrages hydrauliques du domaine sont des martellières qui permettent la régulation des communications entre les canaux, de bloquer ou laisser passer l'écoulement, dans un sens ou dans l'autre en fonction des niveaux d'eau de chaque côté de celles-ci et des passages busés qui assurent la circulation de l'eau sous les ponts (étoile bleu, Figure 3). Certains ouvrages hydrauliques présents sur le Petit Saint-Jean ne sont plus en état de fonctionnement.

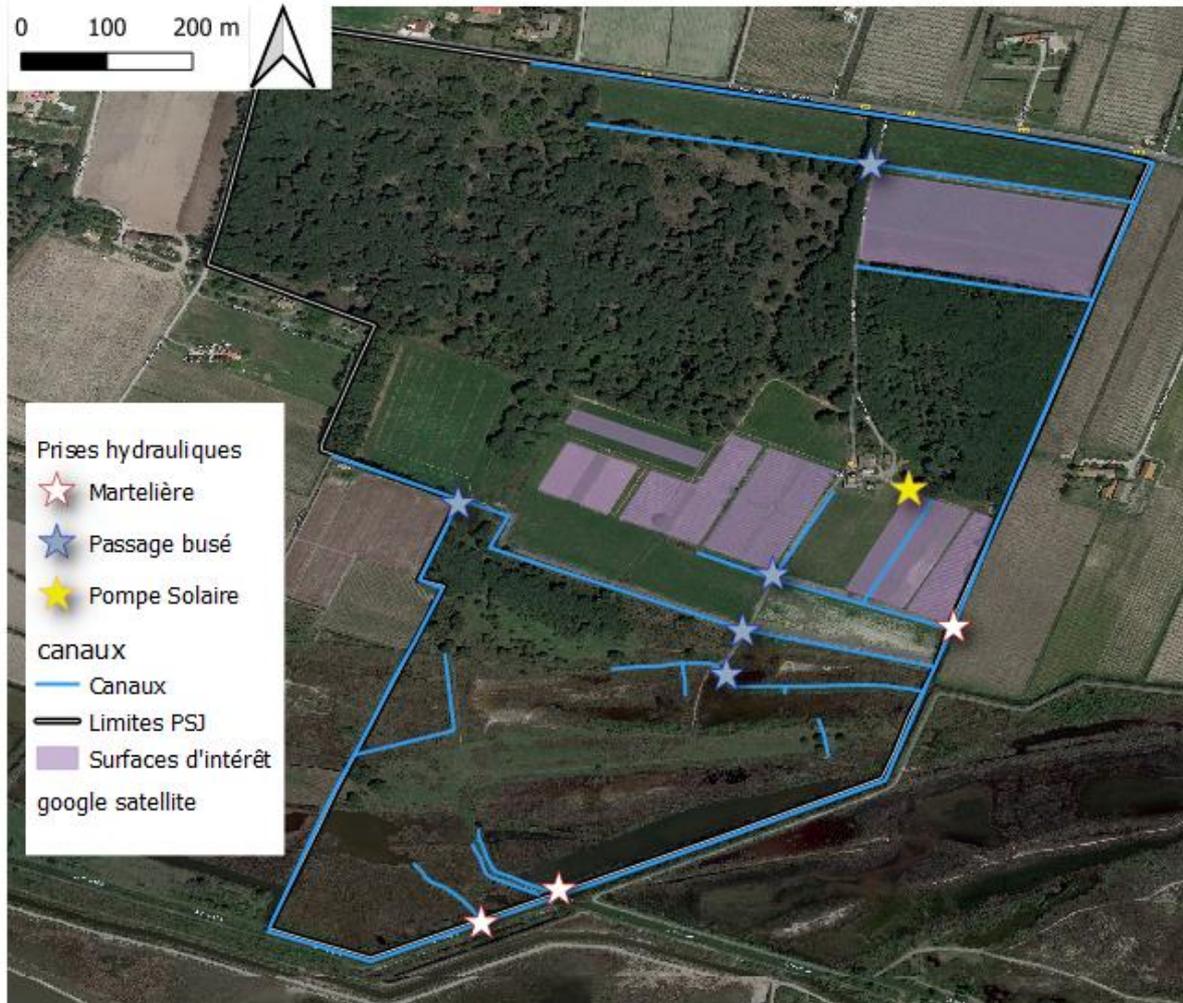


Figure 3 : Position des canaux et ouvrages hydrauliques sur le Petit Saint-Jean

## 1.2.2. Irrigation des parcelles agricoles du domaine

### A. Rôle des canaux

Les principales communications entre les canaux sont libres en raison d'ouvrages défectueux et obsolètes ou absents (entrées d'eau gravitaires sur la Figure 2). Le réseau de canaux du Petit Saint-Jean n'est pas bétonné. Les canaux permettent d'irriguer le domaine par infiltration gravitaire. L'eau peut donc transiter du canal vers le sol ou du sol vers le canal, pouvant ainsi amener ou sortir l'eau des parcelles. Le sens du transfert dépend des hauteurs d'eau dans les canaux et dans la zone saturée. L'absence de revêtement implique une contrainte qui peut être lourde pour les gestionnaires : les canaux doivent être curés régulièrement pour assurer une bonne circulation de l'eau. L'ensemble des canaux du domaine de direction Est-Ouest fait 1,5 m de profondeur et environ 4,5 m de largeur.

## B. Goutte à goutte

Depuis 2017, un système d'irrigation au goutte à goutte (Tableau 2) est en place sur le domaine. L'eau des canaux est conduite jusqu'aux parcelles grâce à une pompe solaire. Ce système d'irrigation était réservé aux vergers, mais dû au problème de salinité, il a été étendu aux vignes en été 2022. Les vergers sont irrigués deux jours par semaine, et les vignes durant les 5 jours restants.

Tableau 2 : Caractéristiques du goutte à goutte actuels

Répartition	Débit	Fréquence	Période d'irrigation
Tous les 30 cm sur chaque parcelle	1,6 l/h	5 jours/semaine (vigne) 2 jours / semaine (vergers)	Mai-Juillet

## 2. Aménagements envisagés par le domaine

Le rapport annuel de 2020 rappelle les objectifs généraux de la gestion hydraulique sur le domaine que sont la bonne conduite des cultures et la conservation des zones humides. Il y est également mentionné l'état fortement dégradé des canaux et ouvrages lors de ces dernières décennies. Un état des lieux avait été dressé en 2017 où trois canaux avaient été curés (Figure 4) par le domaine du Petit Saint Jean. L'entretien de ces aménagements est indispensable pour permettre la bonne circulation de l'eau et prévenir les remontées de la nappe. De plus, malgré le rejet du projet hydraulique par la DREAL en 2017, il est toujours envisagé de réaliser une extension des canaux.

### 2.1. Aménagement 2017 - Entretien des canaux

Un premier entretien des canaux a été réalisé en 2017 afin de restaurer leur fonctionnalité et permettre leur alimentation en eau douce pour limiter les remontées salines. Le linéaire des canaux entretenus était de 1490 m pour 448 m<sup>3</sup> de volume de terre excavé et correspondait à l'ensemble des canaux bordant les parcelles agricoles (Figure 4). Les canaux non concernés par ce curage étaient les canaux du marais et ceux autour de la parcelle "Anciennes Vignes".

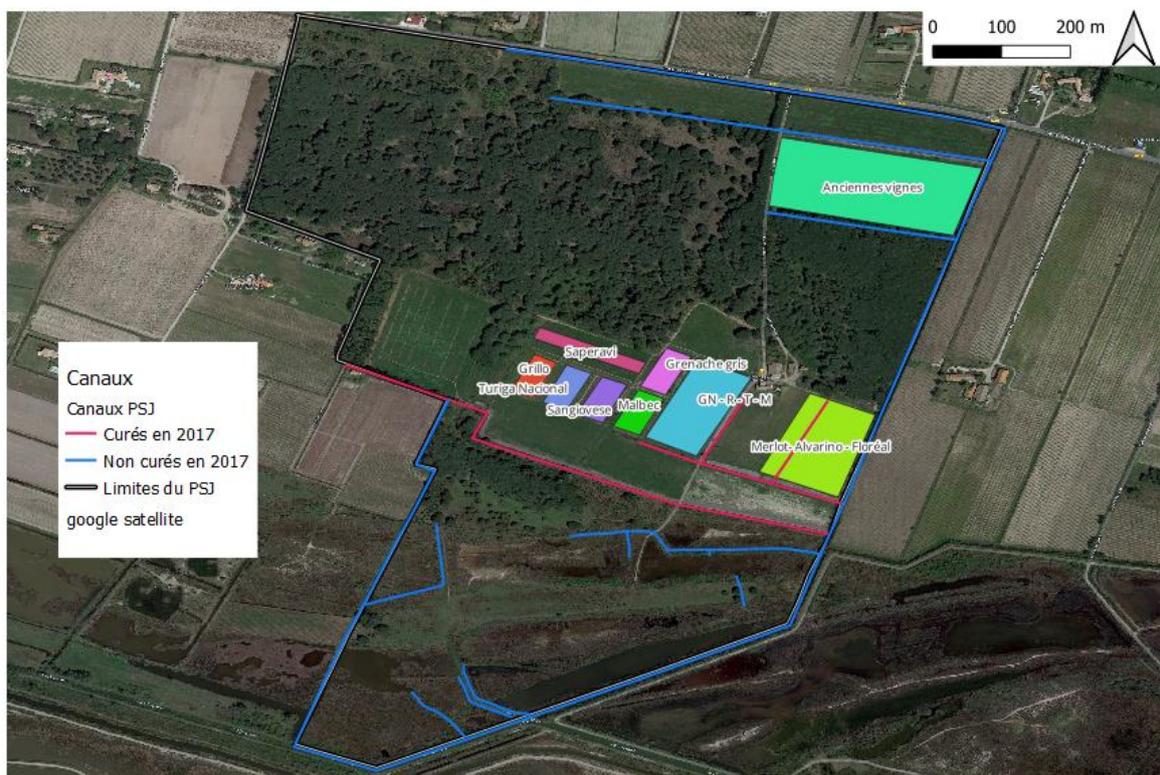


Figure 4 : Localisation des canaux à entretenir (en 2017)

## 2.2. Aménagement 2017 - Création de canaux

### 2.2.1. Aménagement des canaux prévus

En 2017, une étude a été menée pour analyser l'impact de la création de canaux entre les parcelles de vignes. Ces réseaux de canaux auraient été connectés aux canaux existants. Le linéaire qui était envisagé était de 1000 m environ (Figure 5) et correspondait à une excavation de 3000 m<sup>3</sup> de terre. La zone irriguée par ce système aurait été de 4 ha et les profondeurs de ces canaux n'aurait pas excédé 1,5 m de profondeur et 1 m de large. Ces canaux auraient permis d'apporter une colonne d'eau de 20 à 30 cm.

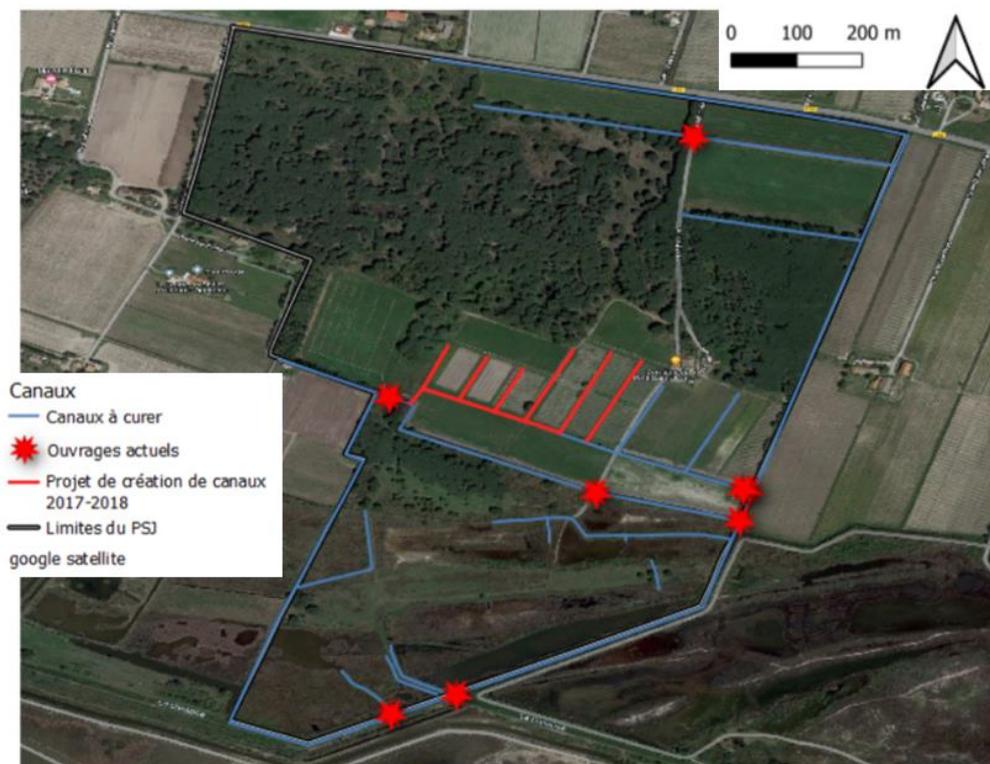


Figure 5 : Cartographie des canaux existants et à créer pour le projet 2017

## 2.2.2. Arrêt du projet de 2017

Ce projet n'a pas abouti, car la DREAL s'y est opposé pour les raisons suivantes :

- "l'emprise des canaux est située dans un secteur concerné par le risque inondation, la création de merlons, qui sont des levées de terre, est susceptible d'aggraver l'inondabilité des terrains voisins", il faudrait donc consulter le service risque DDTM 30 afin de recueillir leur avis sur le sujet.
- Le projet est susceptible : "d'être soumis à la rubrique 3.2.2.0 "installations, ouvrages, remblais dans le lit majeur d'un cours d'eau" de la loi sur l'eau".
- Manque d'analyse sur la question environnementale, les travaux pourraient porter "atteinte à la faune et la flore et dans ce cas, réaliser une demande de dérogation concernant les espèces protégées".

Ces différents points nécessiteront d'être éclaircis par les gestionnaires de la Tour du Valat, si la solution de la création de nouveaux canaux est finalement préconisée et choisie.

## 2.3. Sollicitation de l'ASA

Les entrées d'eau sur le domaine dépendent du niveau d'eau présent dans le canal de la Divisoire. Un objectif du plan de gestion du Petit Saint-Jean 2018-2023 était de contacter l'ASA canaux Sylveréal et Bourgidou afin de solliciter un apport d'eau suffisant pour les besoins du domaine (irrigation, limitation de la salinisation) (Figure 6).

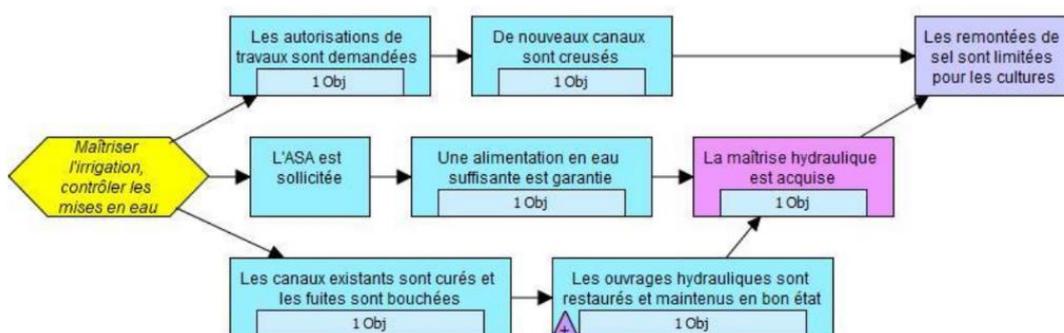


Figure 6 : Planification des objectifs de gestion de l'eau (Plan de Gestion Volume II du Petit Saint-Jean (2018-2023) )

L'ASA, (précisé par son président : M. Lamazère lors d'un entretien du 11/03/2023), a indiqué qu'il n'y avait pas de possibilité d'avoir plus d'eau en hiver car la réglementation impose de ne pas approvisionner en hiver. De ce fait, le domaine du Petit Saint Jean doit trouver un moyen de garder son eau sur le domaine indépendamment des flux d'eau de l'ASA.

## 3. Comparaison des aménagements possibles

### 3.1. Précautions de travaux et d'entretien des aménagements

Quel que soit l'aménagement envisagé, il est notifié dans le plan de gestion de 2018-2023 de les réaliser de manière à impacter le moins possible la biodiversité (Cistude d'Europe, passereaux, insectes). De ce fait des précautions devront être prises lors de la réalisation de ces aménagements, par exemple :

- L'entretien des canaux existants et opérationnels est prévu en automne et au printemps en dehors de la période d'hibernation des Cistudes, de nidification des passereaux, et de reproduction des insectes,
- La réhabilitation des canaux est prévu en automne ou hiver, lorsque les canaux sont asséchés car les Cistudes ne s'y trouveront pas,

- La création de nouveaux canaux est prévue en hiver pour ne pas impacter les sites d'hibernation des Cistudes.

## 3.2. Objectifs des aménagements hydrauliques pour le domaine

Les aménagements hydrauliques (canaux, asperseurs, drain...) permettant de lutter contre l'impact de la salinité sur les cultures peuvent avoir différentes fonctions :

- **Lixivier les sels du sol :**
  - Principe : un apport d'eau moins salée en surface peut, en percolant, entraîner les sels en profondeur.
  - Conditions : Ce processus ne peut être réalisé que pour la zone non saturée,
  - Précaution : L'apport d'eau douce ne doit pas être trop important, afin de ne pas lessiver la matière organique du sol, nécessaire à la culture.
- **Création d'une "lentille d'eau douce"** qui viendrait se superposer à une nappe salée, limitant ainsi les remontées salines :
  - Principe : Limiter les échanges entre la zone saturée et la surface
  - Levier : gestion de l'irrigation

Les différents aménagements envisageables ne permettent pas tous de répondre aux mêmes besoins, et n'ont souvent un impact que sur un seul de ces deux niveaux. Ainsi, il peut être préférable de considérer une combinaison d'aménagements hydrauliques.

Il existe plusieurs leviers d'actions, qui peuvent être adoptés conjointement : entretenir les canaux existants, créer de nouveaux canaux, mettre en place des drains, etc... Le choix de l'aménagement pour lutter contre la salinisation des sols dépend du type de sol et de l'objectif à atteindre.

## 3.3. Types d'aménagements possibles

### 3.3.1. Curage des canaux existants

Le curage envisagé concerne l'ensemble des canaux appartenant au domaine et qui bordent les parcelles agricoles. Le curage des canaux permettrait d'augmenter leur potentiel d'infiltration permettant ainsi de maintenir la nappe d'eau salée à une hauteur raisonnable et diluer les sels en surface.

- **Mise en place technique :** Les canaux à entretenir sont curés à la pelle mécanique, La question de l'utilisation des boues de curage sera abordée dans la partie 3.3.5. Les roseaux et les cannes de Provence peuvent être broyés pour nettoyer les berges. En effet, le développement de la

végétation dans les canaux peut offrir une rugosité importante et représenter un frein important aux écoulements et favoriser le piégeage de sédiments (Figure 7 et Figure 8).

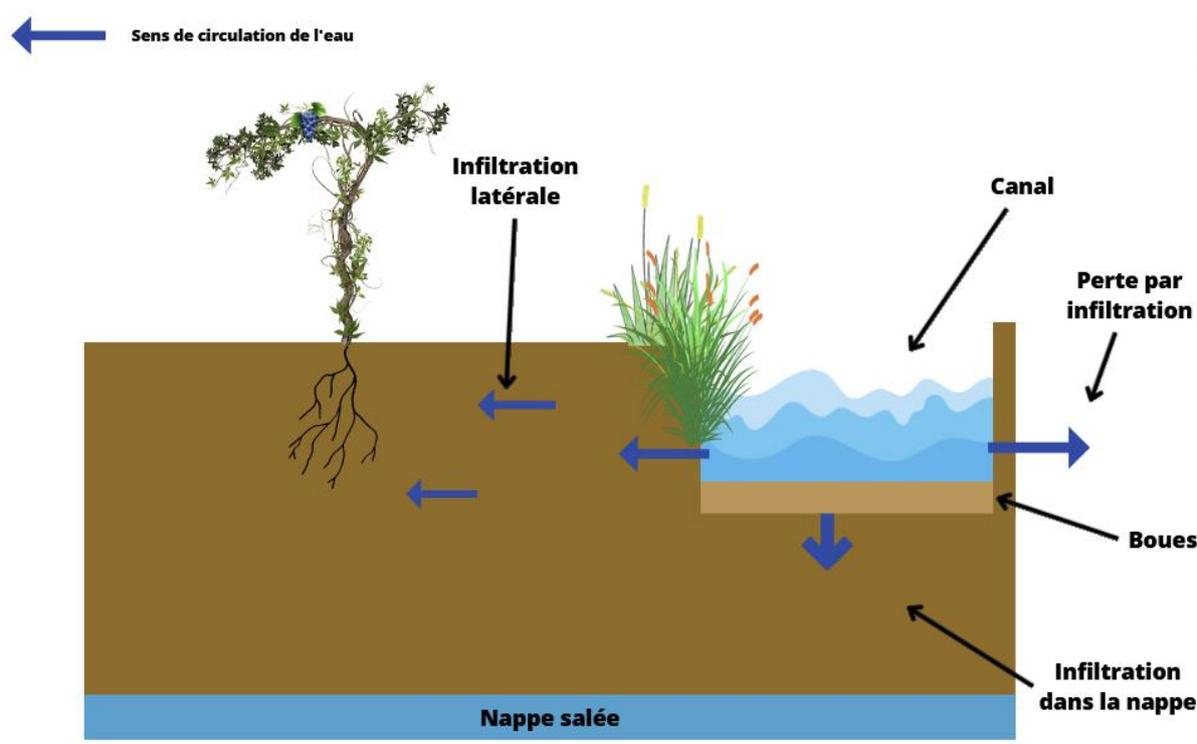


Figure 7 : Etat des infiltrations sans curage

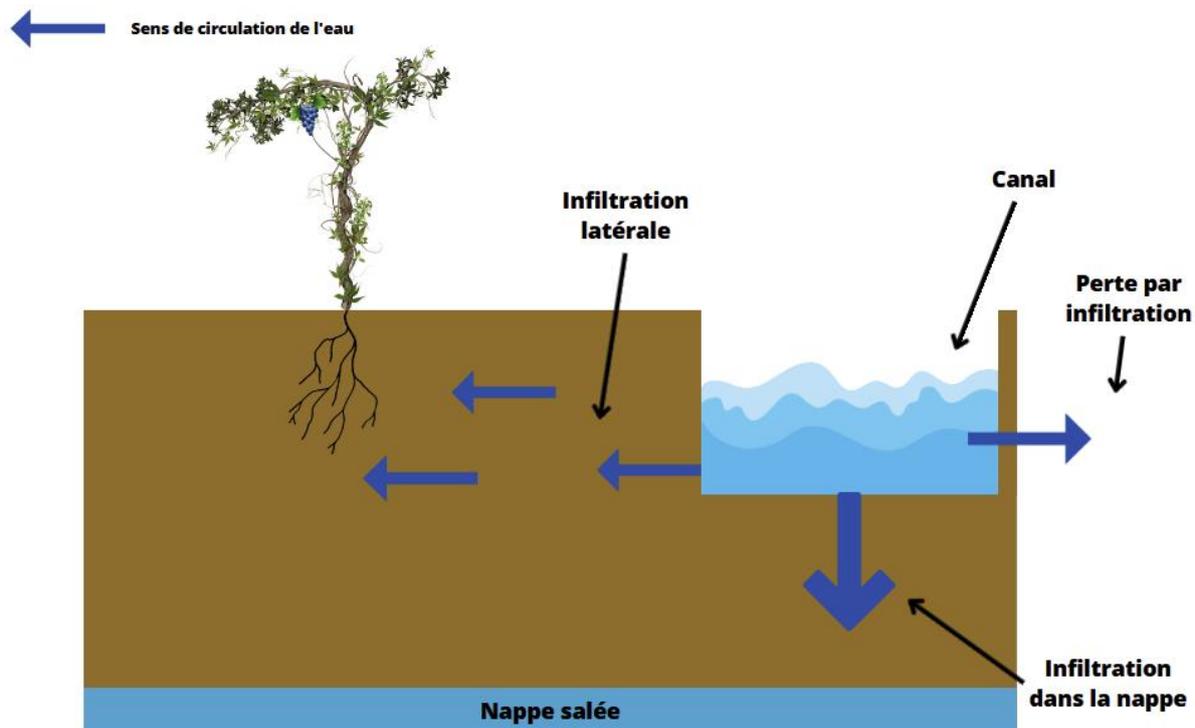


Figure 8 : Etat des infiltrations après curage

Le curage des canaux et notamment la taille et le brûlis des espèces végétales sur les bords doit respecter certaines recommandations. Si les canaux sont bordés d'arbres, certains doivent être conservés, et ceux qui seront retirés doivent être coupés de tel sorte que la base du tronc et l'enracinement soit conservé. La taille doit se faire hors période de nidification des oiseaux pour éviter toute destruction de nids. Par ailleurs, il faut conserver une certaine couverture végétale, à la fois pour le maintien de la structure des berges mais également pour le maintien de la biodiversité présente sur ces bords de canaux.

- **Gestion technique/entretien :** Pour estimer le besoin d'entretien des canaux vis-à-vis du curage, il est possible de mettre en place une échelle millimétrique (Figure 9) dans les canaux, basée sur la pente souhaitée entre l'amont et l'aval des canaux. Le curage sera à faire dès que la hauteur de fond aura dépassé une certaine valeur.

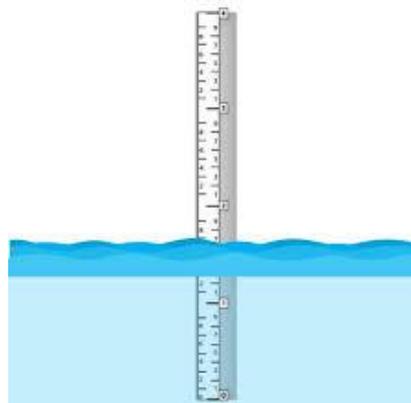


Figure 9 : Exemple d'échelle millimétrique (Genecq)

- **Freins réglementaires** : Quand la surface de la zone est inférieure à 2000 m<sup>3</sup>, le maître d'ouvrage doit faire une déclaration auprès du service de la police de l'eau (la DDTM du département), le contenu d'un tel dossier est fixé par l'article R.214-32 du code de l'environnement. Si le volume curé est supérieur à 2000 m<sup>3</sup>, une autorisation doit être déposée, le contenu d'un tel dossier est fixé par l'article R.181-13 du Code de l'Environnement (Autorisation) (« Sous-section 3 : Dispositions applicables aux opérations soumises à déclaration (Articles R214-32 à R214-40-3) - Légifrance » s. d.).
- **Coût de mise en place** : Le coût technique du curage des canaux est le coût de la main d'œuvre nécessaire pour entretenir le linéaire de canaux, dans le cas où la pelle mécanique appartenant au domaine peut être utilisée pour ce type de travaux. Une échelle millimétrique a quant à elle un coût d'une cinquantaine d'euros. Si l'on en place deux par canal (soit environ 10 au total), cela revient à environ 500 euros.
- **Coût d'entretien** : Le coût d'entretien revient au coût de la mise en place (soit main d'œuvre, pelle mécanique et carburant)
- **Impact environnemental** : L'impact environnemental à prendre en compte est la perturbation de l'écosystème à la fois par le retrait des boues et par la taille des bords des canaux.

Le curage des canaux est l'aménagement présentant le moins d'impact environnemental et avec une faisabilité technique très élevée à moindre coût et qui pourrait améliorer grandement les échanges d'eau latéraux avec les parcelles agricoles.

## 3.3.2. Creuser de nouveaux canaux

### a. Canaux non-bétonnés

Cette solution de créer des canaux non bétonnés s'appuie sur le projet de canaux mené en 2017 (se référer à la partie 2). Ce projet permettrait d'alimenter une superficie de 4ha de vignes. Ces canaux pourraient amener une **lame d'eau entre 20 et 30 cm**, pour former une lentille d'eau douce superficielle faisant pression sur la lentille d'eau salée, permettant de diluer les sels présents et de les exporter ou de les lixivier en utilisant les canaux de drainage lorsqu'ils ne sont pas en eau. Cette solution permet aux cultures de se développer sans inhibition et d'apporter une solution sur le long terme contre la salinité (Anras et Des Touches 2007).

- **Mise en place technique** : Ces canaux seront creusés à la pelle mécanique à 1,5 m de profondeur au maximum, ils nécessitent un conducteur de minipelle. Il sera important de réaliser un travail, en amont, de relevés topographiques fins pour assurer une pente hydraulique suffisante pour permettre un transfert d'eau par gravité. La différence de topographie au sein du domaine ne dépasse pas 1 m (Figure 10).



Figure 10 : Carte topographique du domaine (source : Géoportail)

- **Gestion technique/entretien** : Pour estimer le besoin des canaux vis-à-vis du curage, il est possible de mettre en place une échelle millimétrique dans les canaux (comme préconisé en 3.3.1), basée sur la pente souhaitée entre l’amont et l’aval des canaux. Le curage sera à faire dès qu’on aura dépassé une certaine valeur de hauteur de fond, en fonction de ce qui est souhaité pour la pente.
- **Freins réglementaires** : La réglementation à laquelle il faut se référer figure dans le Code de l’Environnement. Il convient de se renseigner auprès de la DDAF, du CSP et de la DIREN pour disposer du cadre réglementaire complet auquel se conformer.  
La réglementation concernant les canaux se base sur la Loi sur l’eau (articles L 210-1 à L 218-80), notamment celle disant que “la création de canaux dont la section est supérieure à 10 m<sup>2</sup> (rubrique 2.5.1.) est **soumise à autorisation**”.
- **Coût de mise en place** : Le coût de revient de canaux non bétonnés prend en considération la main d’œuvre ainsi que la location du matériel. Au total ce coût s’élèverait à 20€/m de linéaire, à dire d’expert (*Entretien avec Sébastien Loubier, 2023*), ce qui dans le cadre du projet reviendrait à un coût de 20 000€.
- **Coût d’entretien** : Le coût d’entretien revient au coût de curage (soit main d’œuvre, pelle mécanique et carburant)
- **Impact environnemental** : Des impacts négatifs sont inhérents à cette méthode, telle que la diffusion de la potentielle pollution des parcelles par le biais des canaux.

La création de nouveaux canaux non bétonnés permettrait de mieux répartir l’eau dans le domaine et d’amener une lentille d’eau douce par infiltration latérale (Figure 11). L’utilisation de canaux non bétonnés permet également, au niveau des canaux, d’assurer le renouvellement de la nappe plus facilement, car d’importants volumes d’eau sont prélevés en surface dans les cours d’eau, et sont ensuite transférés en profondeur vers la nappe d’eau douce.

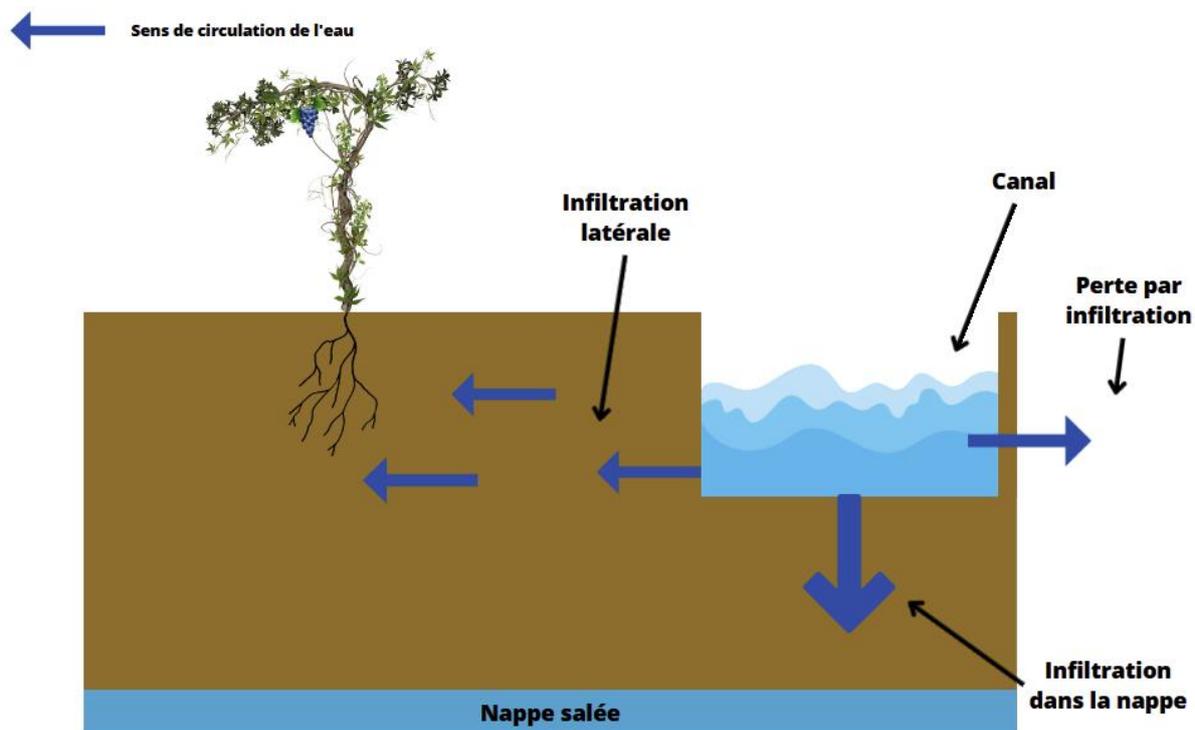


Figure 11 : Principe d'irrigation de la vigne par un canal non-bétonné

## b. Canaux bétonnés

Cette solution se base sur les mêmes principes que la formation de canaux non bétonnés notamment concernant les parties **Gestion technique/entretien**, qui sont identiques à la partie précédente. Cette solution permettra d'amener la même lame d'eau, mais avec un volume d'eau utilisé moins important dans les canaux car l'efficacité du canal va être améliorée par diminution grâce à la bétonisation (Figure 12). Ces canaux ne seraient bétonnés que sur le fond afin de favoriser l'infiltration latérale

- **Mise en place technique** : Ces canaux seront creusés à la pelle mécanique à 1,5 m de profondeur au maximum, ils nécessitent le recours à de la main-d'œuvre.
- **Freins réglementaires** : Les freins réglementaires sont identiques à ceux cités dans la partie 3.3.2.a. Concernant l'excavation de terre, il y a probablement des contraintes supplémentaires liées à l'imperméabilisation du sol en zone humide (Figure 14).
- **Coût de mise en place** : Le coût de revient de canaux non bétonnés prend en considération la main d'œuvre ainsi que la location du matériel, au total ce coût s'élèverait à 70-80€/m de linéaire, à dire d'expert (*Entretien avec Sébastien Loubier, 2023*), ce qui dans le cadre du projet reviendrait à un coût de 70 000€ - 80 000€.
- **Coût d'entretien** : Le coût d'entretien revient au coût de curage (soit main d'œuvre, pelle mécanique et carburant).

- **Impact environnemental** : Cela va favoriser les infiltrations latérales mais diminuer les infiltrations dans la nappe, en effet le phénomène de percolation va apparaître dès lors que le profil de sol va dépasser la capacité au champ et ainsi alimenter la nappe. Cependant cette méthode pourrait poser des problèmes d'inondation (par diminution de l'infiltration dans la nappe) en considérant que le domaine est soumis au risque inondation. De plus, l'interception des remontées de nappe salée dans ce cas serait entravée par rapport aux canaux non bétonnés et il pourrait y avoir des conséquences sur le cycle de l'eau et sur le reste du territoire. Par ailleurs, la bétonisation du fond du canal va perturber l'écosystème aquatique.

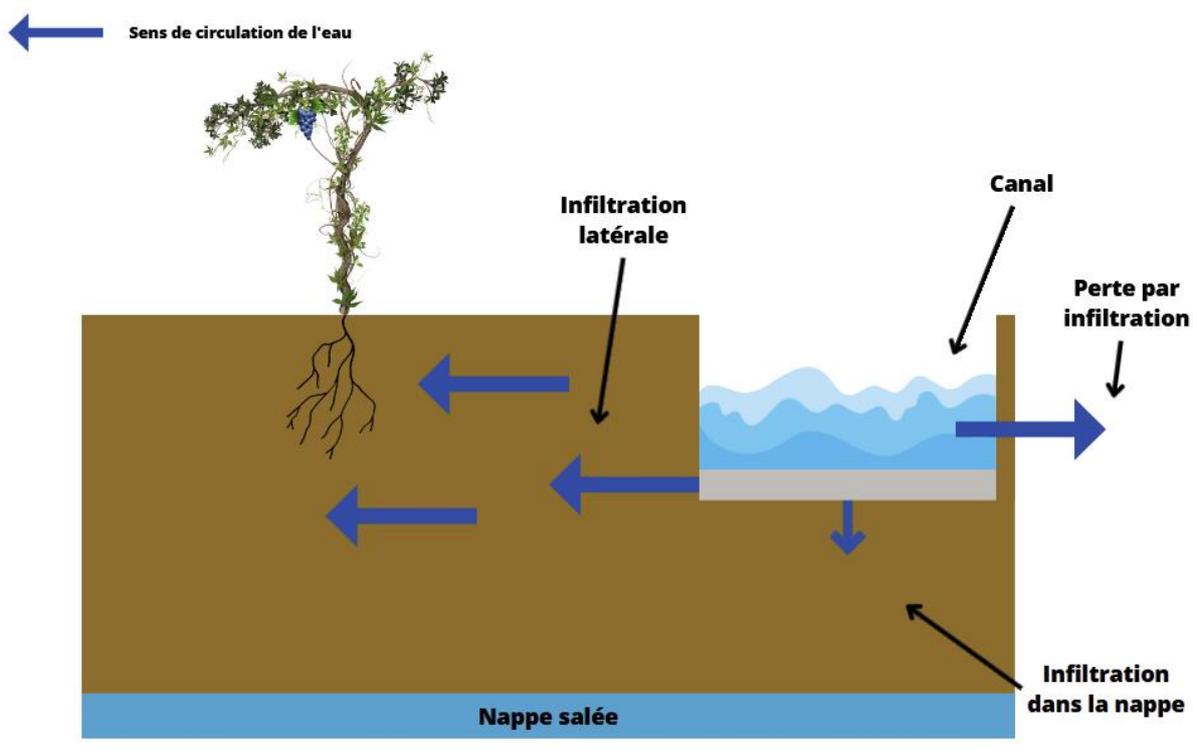


Figure 12 : Principe d'irrigation de la vigne par un canal bétonné

La création de canaux bétonnés permettrait, à volume d'eau égal, une meilleure efficacité de l'utilisation de cette eau.

### 3.3.3. Martelière

Les martelières sont un ouvrage qui permet la gestion de l'eau et permet d'assurer la gestion d'entrée et de sortie d'eau provenant de l'ASA. Le domaine n'en possède qu'une seule qui soit fonctionnelle, située entre le canal de la Divisoire et le marais. Pour assurer une meilleure gestion de la circulation de l'eau au sein du domaine et empêcher la diminution du volume d'eau en hiver dans les canaux

(pompage inverse par l'ASA), il faudrait ajouter des martelières au niveau des 3 entrées d'eau (figure 2):

- **Mise en place technique** : Tout dépend de la société qui les met en place, que ce soit sur les techniques d'installation ou le dimensionnement de la martelière selon François Charon (ingénieur au domaine du Merle). Pour la mise en place de martelière, il faut attendre l'assèchement des canaux, sinon il faut installer des systèmes de déviation de l'eau selon Gilles Belaud (Ingénieur hydraulique à l'INRAE)
- **Gestion technique/entretien** : Les martelières demandent un entretien courant (crémaillère...) (Pôle relais lagunes méditerranéennes, s. d.)
- **Coût de mise en place** : L'installation d'une martelière est chiffrée à 5 000€ l'unité ce qui reviendrait à un coût de 35 000€ pour en installer 7. Ce prix pourra être revu à la baisse s'il est décidé de remettre en état la martelière au sud plutôt que de la remplacer.
- **Impact environnemental** : On peut supposer que la martelière pourrait impacter la circulation des espèces piscicoles présentes dans les canaux

La martelière est un ouvrage durable qui permettrait de pallier au phénomène de baisse des niveaux d'eau en hiver et donc d'augmenter les volumes disponibles en eau.

### 3.3.4. Drainage enterré

Le drainage enterré permet soit d'abattre la nappe d'eau salée présente dans les parcelles puis de l'évacuer dans les canaux, soit d'amener de l'eau douce en provenance des canaux vers les parcelles. Les drains seront perforés et positionnés dans le sens d'implantation de la vigne.

- **Mise en place technique** : Pour mettre en place un drain, il faut raisonner en fonction de la profondeur des canaux qui sont à 1,5 m maximum. Pour que les drains puissent assurer leur fonction drainante, il est nécessaire qu'il présente une inclinaison suffisante pour faire circuler l'eau des parcelles vers les canaux (minimum 2:1000 selon Armand Crabit (Maître de conférence à l'INRAE)). Ainsi, Les drains seront étendus sur 100 m (Figure 14), ils s'étireront donc du canal à 1,5 m de profondeur jusqu'à l'extrémité de la parcelle (100 m plus loin) à 1m de profondeur. Cette profondeur a été choisie pour que le drain soit situé sous les racines de la vigne. (Figure 13). Ainsi, les drains des parcelles de 100 m auront une pente de 5:1000, tandis que ceux des parcelles de 150 m auront une pente de 3.3:1000, ce qui est supérieur aux 2:1000 minimum recommandés

Lors de la mise en place de ces drains, il faudra ajouter un enrobage pour protéger le drain du colmatage racinaire ou minéral.

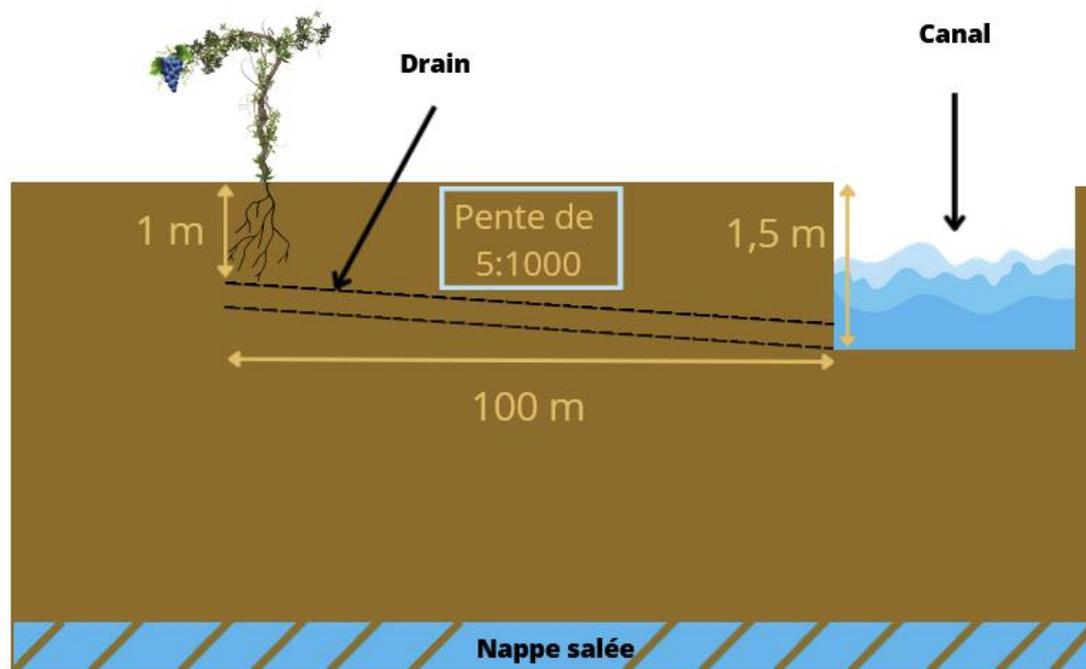


Figure 13 : Disposition d'un drain sur une parcelle de 100 m

- **Gestion technique/entretien** : L'entretien des sorties de drainage (bouches de décharge) comprends plusieurs points (Ministère de l'agriculture de l'Ontario, s. d.) :
  - Avant d'entreprendre tous travaux, s'assurer d'avoir au préalable obtenu les autorisations nécessaires
  - Retirer les déchets ou débris qui ont pu s'accumuler autour de la sortie de drainage.
  - Vérifier s'il y a des signes d'érosion autour des tuyaux de drainage ou dans le fossé récepteur et vérifier si de l'eau s'écoule en longeant le dessous du tuyau. Confier les éventuelles réparations nécessaires à un entrepreneur en drainage souterrain détenteur d'un permis.
  - S'assurer que la sortie de drainage n'est pas obstruée.
  - Chercher des indices de la présence de rongeurs autour des sorties de drainage et, au besoin, faire le nécessaire pour s'en débarrasser.
  - S'assurer que la grille de protection sur la sortie de drainage est en place et qu'elle fonctionne correctement.
  - Nettoyer le fossé récepteur s'il bloque la sortie de drainage.
- **Freins réglementaires** : Le domaine se situe sur une zone humide temporaire (*Corine Land Cover*) (Figure 14. Or, selon légifrance, dans les zones humides dites "zones stratégiques pour

la gestion de l'eau" mentionnées au 3° II de l'Article L212-5-1 du code de l'environnement, le préfet peut, par arrêté, obliger les propriétaires et les exploitants à s'abstenir de tout acte de nature à nuire à la nature et au rôle ainsi qu'à l'entretien et à la conservation de la zone, notamment le drainage, le remblaiement ou le retournement de prairie (« Article L212-5-1 - Code de l'environnement - Légifrance » s. d.).



Figure 14 : Localisation des zones humides au sein du domaine du Petit Saint Jean (Géoportail (Corine Land Cover))

- **Coût de mise en place :** Le coût d'un drain flexible perforé en PVC d'une longueur de 50 m est d'environ une centaine d'euros (« Drain agricole PVC - Perforé | PUM » s. d.). On peut suggérer (2 drains de 100 m et 2 drains de 185 m).
- **Impact environnemental :** L'impact environnemental dépend des volumes drainés. Si ces derniers sont faibles, on peut supposer que la dilution de l'eau salée dans l'eau douce fera peut varier la conductivité des canaux. Ainsi l'évacuation de l'eau salée drainée aura un impact relativement faible sur les communautés floristique et faunistique aquacole. En revanche, si les volumes d'eau salée drainés sont conséquents, il sera très problématique de les évacuer dans le réseau d'eau douce au risque de fortement perturber les espèces présentes dans le milieu.

L'utilisation de drain hydraulique permet d'évacuer l'eau gravitaire présente dans la macroporosité du sol. Cette évacuation peut se faire à l'aide de canaux ou de drains enterrés, lorsque le milieu est très humide. Il est indispensable que les eaux de drainage qui sont évacuées n'aient pas d'impacts sur l'environnement. La solution à moindre effet serait que ces eaux soient déversées dans des canaux qui présentent déjà une certaine salinité pour perturber au minimum le milieu aquatique. Si il n'est pas possible de rejeter les eaux salées de drainage, il faut que le volume d'eau douce qui va les accueillir soit suffisant pour que les sels soient dilués (Sommerfeldt 1988).

### 3.3.5. Submersion

Le but de la submersion est de maintenir une colonne d'eau douce de 10 à 15 cm pendant 40 jours afin d'abattre la nappe d'eau salée et lessiver les sols.

Le vignoble camarguais est inondé chaque année pendant 40 à 50 jours, une pratique mise en place à la fin du 19e siècle pour lutter contre le phylloxéra. A partir de 1868, la submersion des vignobles pendant 5 à 6 semaines durant les mois d'hiver a permis de lutter contre le phylloxera en détruisant les larves d'insectes (Lonjon 1963).

Cependant, le caractère sableux des sols du Petit Saint Jean ne permet pas la pratique de la submersion. Cette technique d'apport d'eau en très grande quantité sur une longue période permet un lessivage du sel mais peut également entraîner le lessivage des matières organiques du sol. Les cultures se retrouvent alors sans support. La durabilité de cette technique est très faible. Au-delà d'un an d'application de cette pratique, la culture dépérit selon l'ASA (précisé par son président : M. Lamazère lors d'un entretien du 11/03/2023).

- **Mise en place technique** : La submersion peut résulter de l'inondation des parcelles par l'apport volontaire d'eau des canaux vers les parcelles. La création de talus autour des parcelles permettra de contenir l'eau sur les parcelles.
- **Gestion technique/entretien** : La formation des talus peut être une manière de valoriser les boues de curage des canaux. Il n'y a pas d'entretien particulier à prévoir, chaque curage permettra de prolonger/rehausser les talus.  
Dans le cas d'une submersion induite, il faudra utiliser une pompe pour amener l'eau des canaux aux parcelles.
- **Freins réglementaires** : Mesure de restrictions en été, et probable contrainte liée au PPRI.
- **Coût de mise en place et d'entretien** : L'utilisation des boues de curage permet de ne pas importer de matériau. Le coût de mise en place et d'entretien de cet aménagement sera le coût d'entretien des canaux ajouté à celui du déplacement des boues et éventuellement d'installation et d'entretien de la pompe.

- **Impact environnemental (direct et indirect):** La submersion implique l'utilisation d'une forte quantité d'eau, de plus elle peut engendrer le lessivage de la matière organique.

La submersion est une technique très consommatrice d'eau et cette ressource va être soumise à de plus en plus de tension ces prochaines années et notamment au Sud de la France, de plus cette technique lessive les sols et donc la matière organique présente. Cette technique est donc peu durable sur le long terme.

### 3.3.6. Irrigation par aspersion

L'utilisation de canons à aspersion pour irriguer les cultures est une pratique qui se fait dans certains domaines agricoles alentour. Après discussion avec le président de l'ASA (précisé par son président : M. Lamazère lors d'un entretien du 11/03/2023), il semblerait qu'un viticulteur utilise cette technique pour l'irrigation de ses vignes. L'aspersion, contrairement au goutte à goutte, permettrait une meilleure irrigation des vignes sans concentrer le sel en surface (Ali 2012).

- **Mise en place technique :** De la même manière que le goutte à goutte utilise l'eau des canaux, les canons l'utiliseront aussi. Dans l'hypothèse d'une rotation des asperseurs sur le domaine, seulement 2 seraient nécessaires, reliés à des tuyaux suffisamment longs pour couvrir l'ensemble des parcelles viticoles.
- **Gestion technique/entretien :** Les canons nécessitent peu d'entretien tout en ayant une longue durée de vie
- **Freins réglementaires :** C'est une machine soumise à autocertification CE : code du travail, articles R 4313-20 à R 4313-22 et R 4313-75 (Cemagref 2010).
- **Coût de mise en place :** Un asperseur d'une portée de 27 m max coûte une centaine d'euros (« Arroseurs, batteurs et canons d'arrosage pour l'irrigation » s. d.).foll
- **Impact environnemental :** C'est un dispositif qui nécessite des volumes d'eau importants, d'autant plus que la vigne est une culture qui est généralement conduite avec peu d'eau.

Le canon est une technique aujourd'hui peu voire non utilisée en viticulture pour l'irrigation. Elle pourrait aider à pallier le problème de mortalité des vignes mais il est légitime de s'interroger sur la durabilité de ce type d'irrigation surtout pour des cultures viticoles.

## 4. Proposition d'aménagements adaptés au domaine

### 4.1. Bilan sur l'ensemble des aménagement hydrauliques

Le tableau suivant récapitule les intérêts ou non des différents aménagements en trois catégories (faible, moyen ou important), par rapport au domaine, en fonction des descriptions réalisées dans la

partie 3. Le Tableau 3 recense les aménagements hydrauliques fonctionnant de façon optimale (avec la bonne recharge en eau, le bon débit).

Nous avons décidé de pondérer les critères de 1 (important) à 3 (peu important), en fonction de leur importance. Cette importance a été fixée en prenant en compte l'intérêt de l'aménagement pour la problématique et les contraintes liées à leur réalisation de domaine.

Tableau 3 : Bilan des intérêts de chaque aménagement possible dans le domaine

Aménagement Description	Curage des canaux existant	Création de nouveaux canaux non-bétonnés	Création de nouveaux canaux bétonnés	Mise en place de martellières	Drainage enterrée	Submersion	Asperseur (canon)
Intérêt pour lixivier le sel [1]	Vert	Vert	Vert	Rouge	Jaune	Vert	Vert
Intérêt pour limiter les remontées de sel [1]	Jaune	Vert	Vert	Jaune	Vert	Jaune	Rouge
Pertinence vis à vis de la culture (vigne) [1]	Vert	Vert	Vert	Jaune	Vert	Rouge	Rouge

Faible	Moyen	Important	Pas d'information
Rouge	Jaune	Vert	Grise

Tableau 4 : Bilan des modalités de chaque aménagement possible dans le domaine

Aménagement Description	Curage des canaux existant	Création de nouveaux canaux non-bétonnés	Création de nouveaux canaux bétonnés	Mise en place de martellières	Drainage enterrée	Submersion	Asperseur (canon)
Mise en place technique [3]	Vert	Vert	Jaune	Jaune	Rouge	Vert	Vert
Gestion technique/entretien	Vert	Vert	Vert	Vert	Rouge	Jaune	Vert

Aménagement	Curage des canaux existant	Création de nouveaux canaux non-bétonnés	Création de nouveaux canaux bétonnés	Mise en place de martellières	Drainage enterrée	Submersion	Asperseur (canon)
Description							
[2]	Vert	Vert	Vert	Vert	Rouge	Jaune	Vert
Réglementation [2]	Jaune	Jaune	Rouge	Grise	Rouge	Jaune	Jaune
Coût économique [3]	Vert	Jaune	Rouge	Rouge	Vert	Jaune	Jaune
Coût d'entretien [3]	Vert	Vert	Vert	Grise	Grise	Jaune	Grise
Impact environnemental [1]	Vert	Jaune	Rouge	Jaune	Jaune	Rouge	Jaune

Faible	Moyen	Important	Pas d'information
Vert	Jaune	Rouge	Grise

Au vu des résultats présentés ci-dessus, le curage et la création des canaux non-bétonnés sont les aménagements répondant au mieux à la problématique (majorité de critères verts, dont les [1]). Pour les drains, les critères les plus importants, noté 1, sont généralement bien évalués, ce qui en fait un aménagement pertinent au vues des problématiques.

#### 4.2. Solution optimale préconisée

Au vu des problématiques du domaine à la fois en termes de niveau de salinité, de contraintes hydrique et du tracé des canaux, nous préconisons la solution suivante, illustrée par la Figure 15 :

La première opération à faire est le curage des canaux déjà existant afin d'améliorer leur potentiel drainant ou d'infiltration, ceci correspond à une excavation de **2200 m de linéaire** pour 600 m<sup>3</sup> de terre excavée. Ce volume de terre excavé a été estimé sur la base des volumes qui avaient été excavés en 2017. Ces valeurs pourront varier en fonction de l'envasement des canaux. De nouveaux canaux seront creusés afin de ceinturer au maximum les parcelles pour qu'elles soient en contact direct avec une masse d'eau, le linéaire envisagé est de **482 m** pour 1 444 m<sup>3</sup> de terre excavée. Afin d'améliorer la gestion de l'eau au sein du domaine et de limiter la baisse des volumes d'eau en hiver du fait des prélèvements de l'ASA, la mise en place de **7 martellières** aux points d'entrée d'eau et à l'intérieur du

domaine est indispensable (2 sont déjà existantes sur le domaine et présentes sur la carte de la figure 18). En effet, ces martellières pourront être ouvertes la quasi-totalité de l'année afin de permettre la circulation de l'eau et fermées aux périodes de prélèvements de l'ASA et permettront de gérer la quantité d'eau apportée dans les différentes parcelles au sein du domaine. Les volumes excavés (des canaux curés et créés) pourront être déposés en talus (de longueur de **668 m de long**), non pas en bord de canaux afin de garder le potentiel de débordement des canaux, mais au bord des parcelles pour optimiser le phénomène de submersion lors des crues. En effet, si on dépose les boues sur les bords des parcelles comme indiqué sur la Figure 15, cela permettrait de garder sur les parcelles l'eau des crues.

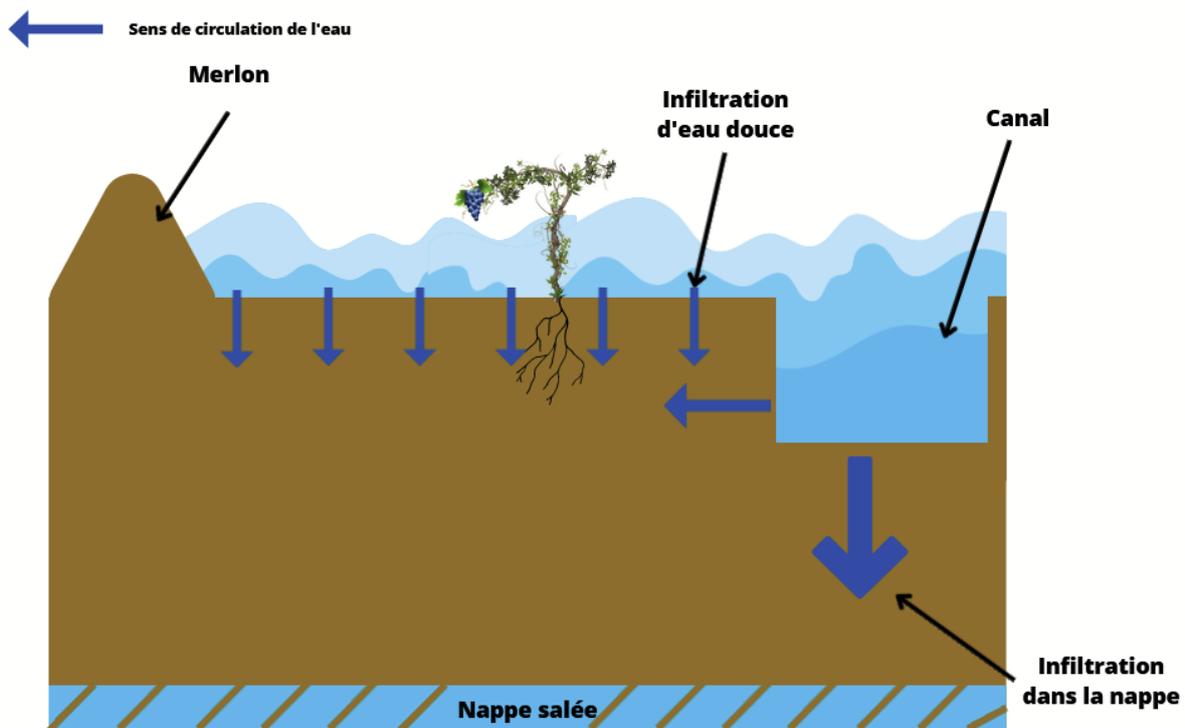


Figure 15 : Intérêt des merlons en cas de crue

De plus, des drains seront posés entre les différentes parcelles (**4 drains**, pour un total de 570 m linéaire environ). Ces drains, qui se déversent dans les canaux, auront un double intérêt en fonction de l'année. En effet, en hiver, alors que la nappe d'eau salée aura tendance à remonter, ils permettront de drainer cette eau salée, et de l'évacuer dans les canaux, afin d'éviter une remontée trop en surface de la nappe (Figure 16)

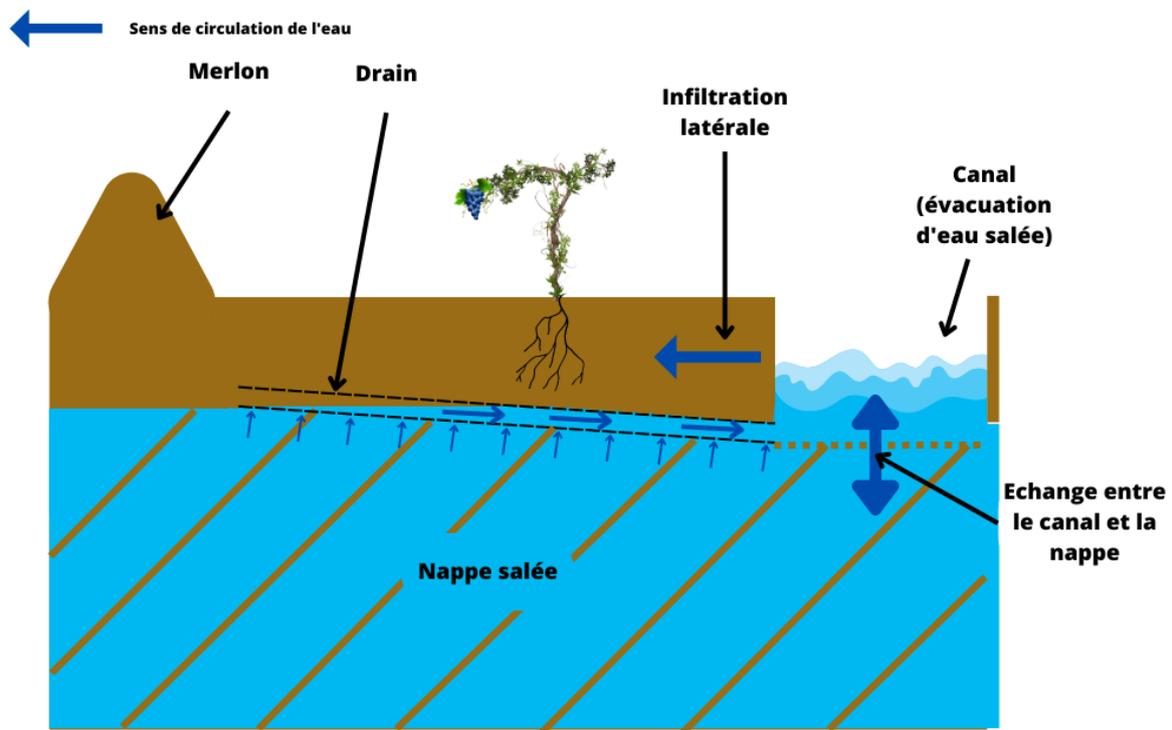


Figure 16 : Fonctionnement des drains en hiver

En été, la nappe salée sera plus basse, et les canaux seront alimentés en eau douce. Ainsi les drains permettront un apport d'eau douce facilité dans les parcelles, en plus des infiltrations des canaux (Figure 17).

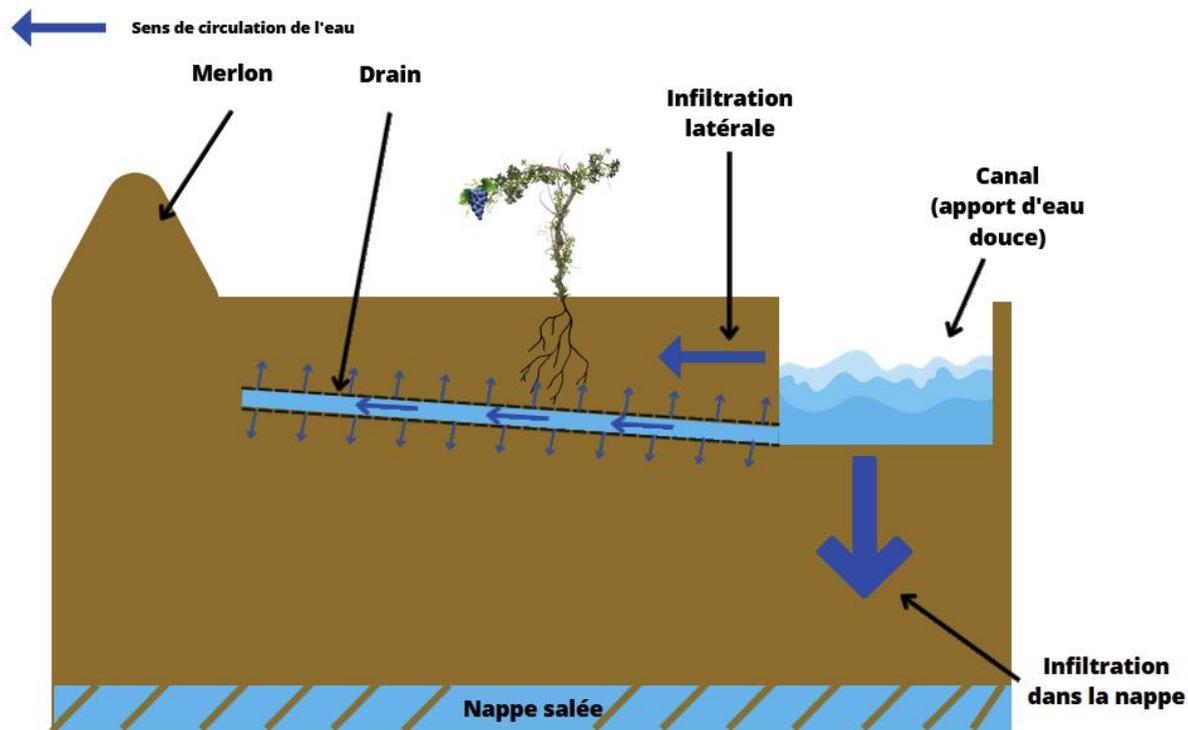


Figure 17 : Fonctionnement des drains en été

Le schéma global des aménagements proposés est présenté ci-dessous et regroupe les différents éléments cités précédemment (Figure 18).

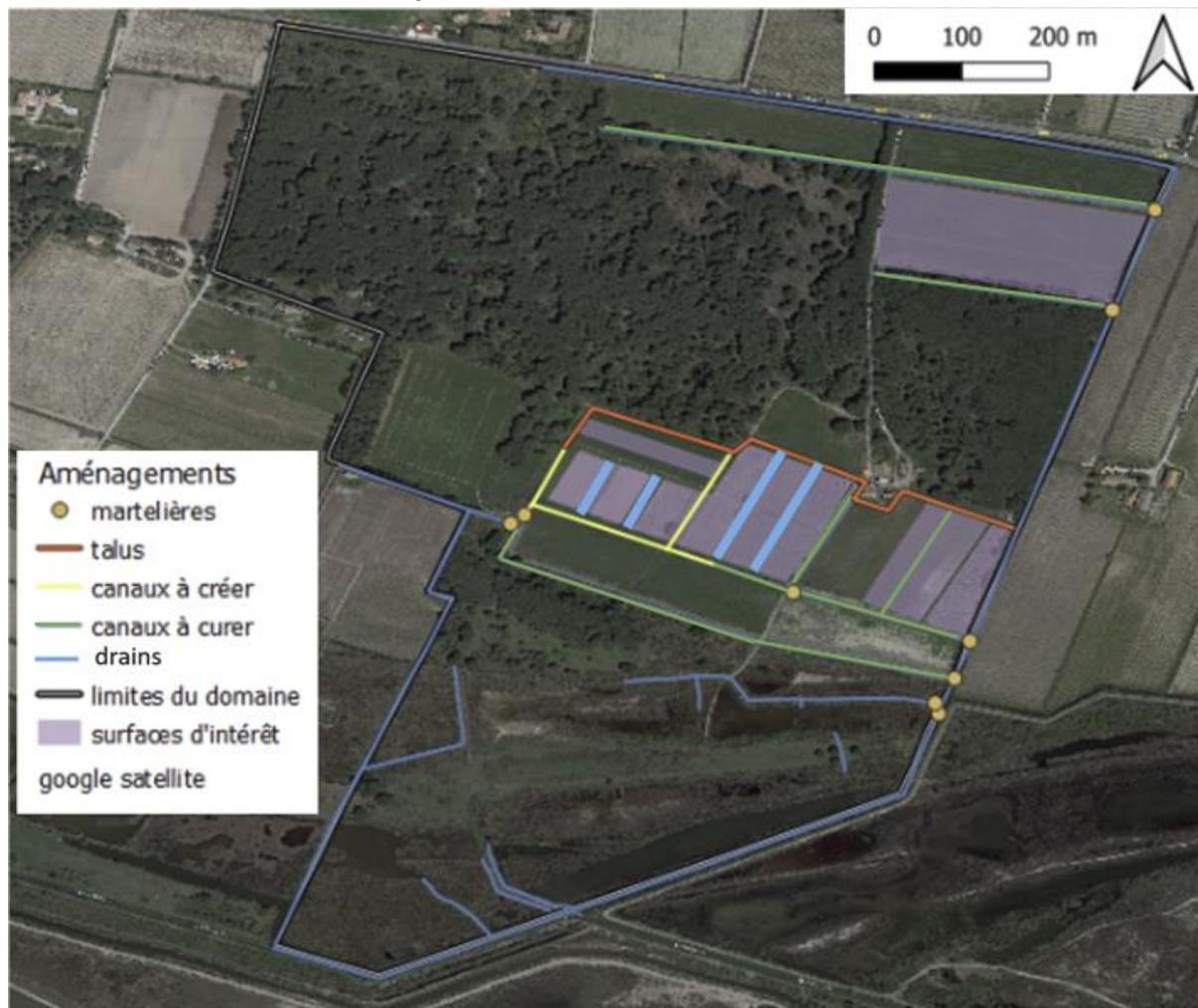


Figure 18 : Proposition d'aménagement hydraulique

### 4.3. Préconisations avant aménagements

Les aménagements hydrauliques prévus précédemment ne pourront être mis en place qu'après une étude indispensable des flux d'eau dans le domaine. En effet, une compréhension précise des dynamiques des flux est primordiale. Une étape pour les comprendre est de quantifier les volumes et les débits d'eau qui circulent dans les canaux, ainsi que les réelles périodes d'apport d'eau sur le domaine. Cela peut passer par la mise en place d'un **débitmètre** en sortie de la Divisoire pour avoir une estimation plus fine des volumes d'eau utilisés annuellement. Cette donnée-là est d'autant plus

essentielle que nous sommes dans une zone et une période critique où la ressource en eau est limitée et où des restrictions et des contrôles vont être mis en place. Des **mètres** peuvent également être installés dans les différents canaux pour pouvoir mesurer la hauteur d'eau, en hiver et en été, pour connaître les périodes et les fréquences d'apport et de prélèvements de l'ASA. Pour connaître la **distance d'infiltration** des canaux vers les parcelles, il faudra calculer le flux d'eau dans le sol via la Loi de Darcy en considérant la charge hydraulique et la constante hydraulique. Pour finir, afin d'optimiser au maximum l'efficacité des drains, le calcul de leur écartement devra être anticipé et réalisé en fonction des **caractéristiques et des propriétés du sol**.

## 5. Solutions alternatives

Certaines pratiques peuvent permettre de répondre, du moins en partie, aux problématiques du domaine, bien que ne correspondant pas à des aménagements hydrauliques. Ces aménagements sont brièvement décrits par la suite. Ainsi, il pourrait être envisagé une mise en place de ces pratiques, en complément d'aménagements hydrauliques préconisés plus tôt dans ce document.

### 5.1. Culture de plantes halophytes en inter rang et/ou enherbement permanent

Actuellement, les inter-rangs sont enherbés par semis puis il y a passage d'un rouleau face dès le mois de mai, répété tout au long de l'été, et création d'un tapis (mulch). La gestion du rang se fait par passage de la lame bineuse. Le broyage est réalisé 15 jours avant les vendanges. La solution alternative consisterait à cultiver des plantes halophytes en inter rang (sur toutes les parcelles), comme la salicorne, afin d'accumuler et de stocker une partie du sel présent dans le sol. Par la suite, un export de cette culture peut être réalisé, par exemple pour la réalisation de fourrage, ou encore la production de biogaz (Ismail et Lyra 2015). Ainsi, cette pratique permettrait à la fois d'exporter le sel présent dans le sol du domaine. Cependant, il est à prendre en compte que la culture en inter rang peut entraîner une compétition avec la vigne, que ce soit pour les nutriments ou l'eau. De plus, dans le cas de la salicorne, son caractère halophile est permis par une consommation d'eau importante afin de réduire la concentration de sel au sein de ses cellules. Ainsi dans le cas présent, et au vu du stress hydrique déjà existant, cette solution ne pourrait être mise en pratique que si elle est couplée à une solution permettant un apport d'eau douce aux cultures.

### 5.2. Changement de types de cultures

Sur la parcelle "Turiga Nacional", complètement déperdi, une option pourrait être de changer de type de culture. En effet, malgré la multitude de solutions de lutte face au sel, il faut considérer l'éventualité que ces différentes pratiques ne suffisent pas à maintenir une culture de vigne sur les parcelles

actuelles. Parmi les cultures pouvant être envisagées, car résistantes au sel, il y a par exemple la grenade, la salicorne comme évoquée précédemment, ou encore le quinoa (Rao 2016).

## Bibliographie

- Ali, M. 2012. « Problèmes de la salinité liés à l'irrigation dans la région Saharienne : Cas des Oasis des Ziban ». Mohamed Khider - Biskra.
- Anras, L., et H. Des Touches. 2007. « Curage des canaux et fossés d'eau douce en marais littoraux », Marais Mode d'emploi, .
- « Arroseurs, batteurs et canons d'arrosage pour l'irrigation ». s. d. Agrifournitures.fr. Consulté le 19 mars 2023. [https://agrifournitures.fr/804-arroseurs-batteurs-et-canons-d-arrosage?gclid=Cj0KCQjw2cWgBhDYARIsALggUhr3puOhC7dFG5FxfRHYIb-Dx-0Bn9Nxi04NRVIPWwfUsVnKxcRLKcaAirTEALw\\_wcB](https://agrifournitures.fr/804-arroseurs-batteurs-et-canons-d-arrosage?gclid=Cj0KCQjw2cWgBhDYARIsALggUhr3puOhC7dFG5FxfRHYIb-Dx-0Bn9Nxi04NRVIPWwfUsVnKxcRLKcaAirTEALw_wcB).
- « Article L212-5-1 - Code de l'environnement - Légifrance ». s. d. Consulté le 12 mars 2023. [https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article\\_lc/LEGIARTI000043975536](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000043975536).
- Cemagref. 2010. « Enrouleur et canon d'irrigation ».
- « Drain agricole PVC - Perforé | PUM ». s. d. Consulté le 12 mars 2023. <https://www.mypum.fr/amenagement-routier/drainage-agricole-et-routier/drainage-agricole/drains-agricoles/produits/P1544?articleId=55118>.
- Ismail, S., et D. Lyra. 2015. « La salicorne en agriculture biosaline - ICBA ».
- Lonjon, J. 1963. « La contribution du Petit-Rhône à l'irrigation et à l'assèchement de la Camargue et de la Petite Camargue. » *Méditerranée*, n° 2.
- Ministère de l'agriculture de l'Ontario. s. d. « Exploitation et entretien d'un réseau de drainage souterrain ». <https://omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/10-092.htm>.
- Pôle relais lagunes méditerranéennes. s. d. « Ouvrage hydraulique et spécificité sur le littoral - Fiche technique n°10 ».
- Rao, N. 2016. « Quinoa for Marginal Environments - ICBA ».
- Sommerfeldt. 1988. « Gestion des sols salins irrigé ».
- « Sous-section 3 : Dispositions applicables aux opérations soumises à déclaration (Articles R214-32 à R214-40-3) - Légifrance ». s. d. Consulté le 19 mars 2023. <https://www.legifrance.gouv.fr/codes/id/LEGIARTI000046017018/2023-03-20/?isSuggest=true>.