

Nom du candidat : Leleu--Riou

Prénom : Inès

N° Candidat : A BCPST - 26331

Noms des auteurs en cas de travail commun

- Joseph-Edouard Ana
- Lemoine Aimy

Dominante BIOLOGIE

Dominante GÉOLOGIE

MIXTE

Surligner la dominante du TIPE

BANQUE AGRO-VETO – Session 2025

T.I.P.E.

Maximum 8 pages (illustrations comprises), Times New Roman 12 ou Arial 10, interligne simple.

20 000 caractères maximum

IMPORTANT : *n'inscrire sur cette couverture aucune référence à l'établissement scolaire*

TITRE : Refertilisation d'un sol suite à une submersion marine

RÉSUMÉ (en six lignes) :

La tempête Xynthia a affecté les terres habitables et agricoles de Vendée en 2010, les agriculteurs ont alors déversé du gypse sur leurs terres afin d'en retrouver les profits. Pour déterminer l'action du gypse sur un sol sablo-limoneux dans l'intérêt de le re-fertiliser, nous avons modélisé l'impact de la salinisation sur un sol argilo-limoneux et mesuré les effets du gypse. Différents résultats ont été observés.

Nombre de caractères (espaces compris) : 16 696

Le document doit être constitué au format A4 avec en couverture cette présentation.

INTRODUCTION

La tempête Xynthia a eu lieu entre le 26/02/2010 et 01/03/2010 suite à une grande dépression provenant de l'Atlantique vers l'Europe [1]. Elle s'est caractérisée par des pluies abondantes, des vents atteignant 140 km/h, un fort coefficient de marée mesuré à 102, et donnant alors lieu à un phénomène d'ondes de tempêtes, ce qui a submergé les terres vendéennes en moyenne de 8 mètres par rapport au zéro hydrographique. La salinité du sol a atteint 18 g/L, le rendant impropre à l'agriculture [A]. Le sel provoque une destruction du sol diminuant sa porosité. Ainsi les flux permettant aux végétaux de s'oxygéner et de se nourrir ne peuvent plus se faire, ce qui impacte leur croissance [2]. Face à cette **transformation du sol** vendéen, les agriculteurs ont mis en place une stratégie originale: ils ont déposé de grandes quantités de gypse. L'intention était de profiter de la capacité du gypse à former des cavités dans le sol [3] entraînant une augmentation de sa porosité permettant aux plantes de subvenir à leurs besoins. Ils ont également modifié leurs cultures en passant du maïs aux lentilles plus tolérants à la salinité. Cette stratégie s'est avérée payante sur les côtes argilo-calcaires vendéennes immergées [A]. Avec le réchauffement climatique, on prévoit une augmentation de la fréquence des tempêtes et des submersions marines. Nous nous sommes alors demandé si la stratégie adoptée en Vendée pouvait être généralisée dans d'autres régions comme la côte Atlantique de Gironde [4], [5] où le sol est sableux-limoneux. Nous nous sommes demandé si **les effets du gypsage sur le sol argilo-calcaire vendéen pouvaient-ils être reproduits sur un sol sableux-limoneux ?**

Dans un premier temps, nous avons cherché à modéliser un épisode de submersion sur un sol sablo-limoneux pour vérifier son impact sur la fertilité du sol. Dans un second temps, nous avons cherché à vérifier si le gypsage permettait de récupérer en partie la fertilité de ce sol. Dans un troisième temps nous étudierons des facteurs physico-chimiques tels que le pH, la conductimétrie ainsi que l'hygrométrie.

I. Mise en place du système modèle de culture submergée sur un sol sableux-limoneux salé ou non

A-Protocole

12 bacs de dimensions 15x16x19 ont été remplis avec 5 kg de terre prélevée sur l'horizon A d'un sol sableux-limoneux [B]. La terre mise dans nos bacs a préalablement été triée afin de ne pas avoir de macro-faune et de micro-faune qui seraient sûrement décédées suite aux manipulations. Cette terre a également été séchée sous étuve pour que tous les bacs contiennent une terre avec le même taux d'hygrométrie.

6 bacs témoins ont été arrosés avec 1800 mL d'eau de pluie dont 3 bacs contenant du gypse et 6 bacs avec la solution salée dont 3 bacs avec le gypse.

6 jours après l'arrosage, 30 lentilles ont été plantées dans chaque bac à des intervalles réguliers. Chaque bac a été divisé en deux colonnes, chacune comportant 5 trous. Chaque trou d'une profondeur de 4.5 cm et d'un diamètre de 0.5 cm, conformément aux indications fournies par l'agriculteur, contient 3 lentilles [A]. Les bacs ont été placés contre une fenêtre orientée sud-ouest, à une température comprise entre 19 et 22 °C entre novembre et mars. Les lentilles ont été arrosées successivement conformément à la pluviométrie indiquée pendant cette période en Vendée. Le taux de lentilles germées a été mesuré après un délai de 4 semaines.

Dans l'intérêt de confirmer ou réfuter nos résultats nous avons réalisé une seconde fois toutes les manipulations. Le seul paramètre variable était la luminosité de la salle que nous ne pouvions pas contrôler dans nos conditions d'expérimentation. La première expérience a été réalisée en décembre-janvier tandis que la seconde s'est déroulée entre février et mars. Ainsi les cultures de la seconde manipulation ont eu davantage de lumière.

A1-Choix du matériel végétal

La variété cultivée dans notre étude se nomme Lens culinaris de son nom commun Anicia, elle possède des avantages agronomes puisque les graines sont petites et de même forme. Cette lentille verte est cultivée à une hauteur de 80 % en France. C'est une variété de référence inscrite en France par Agri Obtention. De plus, l'agriculteur qui nous a conseillé a également utilisé cette variété.

Les lentilles peuvent tolérer une salinité atteignant 50 mM or l'eau de mer à une salinité de 430 mM [3]. Ainsi les lentilles peuvent se développer dans des milieux liquides ayant une salinité dix fois plus faible que l'eau de mer.

A2-Analyse de la terre sur laquelle nous avons fait nos expériences:

La parcelle sur laquelle nous avons prélevé notre échantillon provient de la face Saint-Paul 2 de l'exploitation agricole du Chesnoy dans le Loiret, sa capacité d'échange cationique est de 9.6 meq/100g ce qui correspond à sol de type sableux-limoneux [C].

A3 -Conditions de cultures

Nous avons fait le choix d'utiliser de l'eau de pluie suite à l'étude de ses propriétés. L'eau de pluie filtrée est de bien meilleure qualité que l'eau du robinet. Elle est moins chlorée, moins polluée (moins de chlore, de fluor), moins calcaire. Elle offre un pH légèrement acide et des nutriments bénéfiques pour de nombreuses plantes [7]. Ainsi l'eau de pluie sera utilisée pour notre modélisation.

Concernant le gypse (CaSO_4), celui utilisé par les agriculteurs vendéens [A] provient d'Espagne et ne se vend qu'en paquet de 50 Kg. Pour des raisons de praticité et de coût nous nous sommes procurés le gypse sur le site le Comptoir du Brasseur.

B Résultats et interprétation

4 semaines après avoir planté les graines de lentilles	<u>Bacs témoins</u>	<u>Bacs salés</u>
Photos		
Nombre de graines germées par bac	18 - 22 - 18	0

Figure 1: Tableau montrant l'effet du sel sur la germination des lentilles.

On observe que 66% des graines ont germé dans notre modèle non salé, avec un intervalle de valeurs allant de 18 à 22 lentilles germées. Nous pensons que ce pourcentage est suffisant pour mettre en évidence une inhibition par le sel et valider notre système de culture. Ainsi le sel rend infertile la terre de culture.

II. Effet du gypsage sur un sol sableux-limoneux avec ou sans sel

A-Effet du gypse sur la germination des lentilles d'un sol salé par rapport à une germination sur un sol non salé

A1. Cas d'un sol non salé

A1.1-protocole

La surface de 3 bacs contenant chacun 5 Kg de terre a été arrosée de 1800 ml d'eau de pluie et a été recouverte de 43 g de gypse (CaSO_4), conformément au modèle appliqué par notre contact [A]. La

germination a été évaluée au bout de 4 semaines. Afin de valider ou non nos premiers résultats, nous avons effectué le protocole une seconde fois.

A1.2- résultats et interprétation



Figure 2 : Photo d'un bac contenant du gypse 4 semaines après avoir planté les graines de lentilles

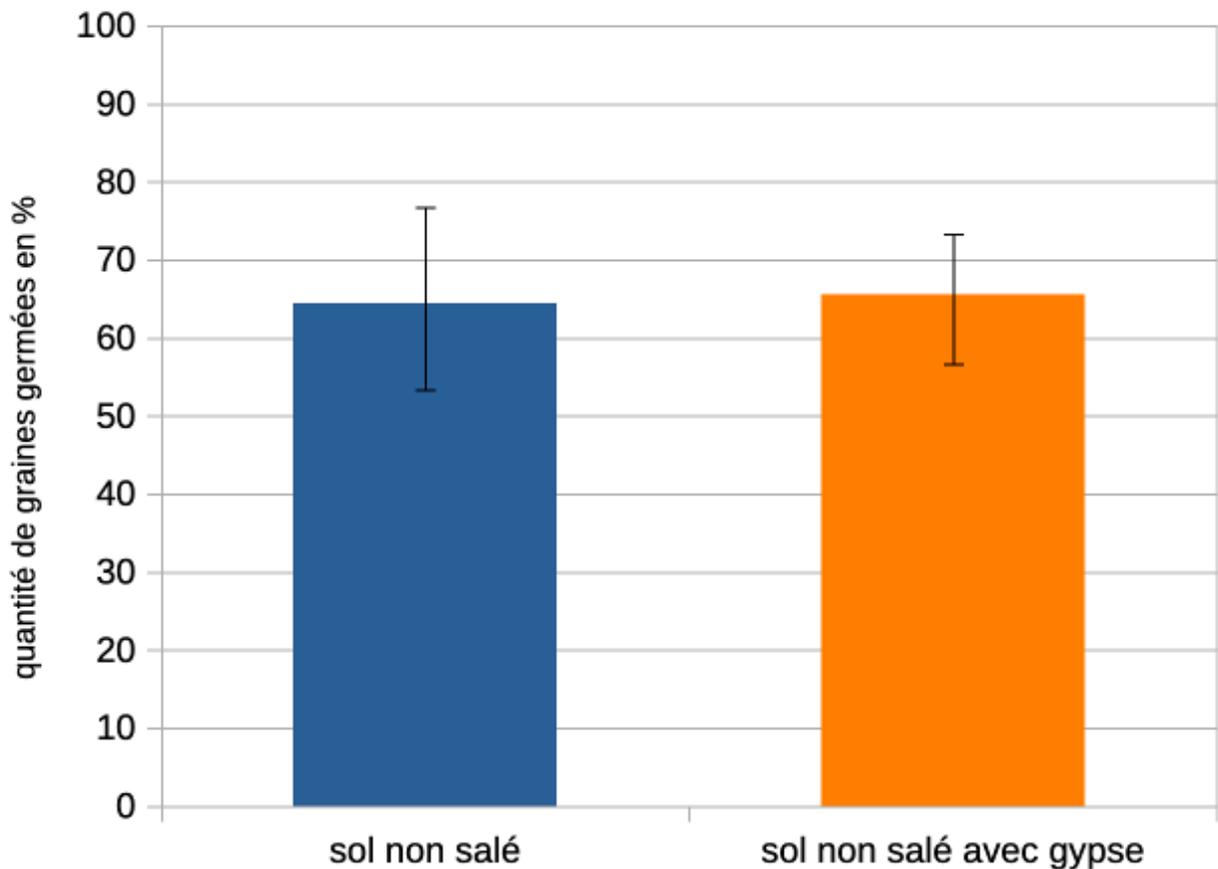


Figure 3 : Moyenne de la quantité de graines germées sur 3 bacs en fonction de la nature du sol non salé ainsi qu'un sol gypsé

Pour chaque graphique les barres correspondent au minimum et au maximum.

Nous avons envisagé la possibilité que le gypse utilisé puisse être toxique dans notre modèle d'étude. Cependant, nos observations montrent que la germination n'est pas significativement différente dans un sol non salé, qu'il contienne ou non du gypse. Après quatre semaines, l'écart de 1 % entre un sol avec gypse et un sol sans indique que le gypse n'entrave ni ne favorise la germination des graines. Par conséquent, nous rejetons l'hypothèse d'une toxicité du gypse utilisé et concluons que le seul facteur influençant la germination de nos lentilles est la présence de sel.

A2 : Cas d'un sol salé

L'objectif de cette expérience est de déterminer si nous pouvons restaurer le sol avec du gypse après qu'il ait été submergé par l'eau salée.

Il a été montré que le gypse améliore l'infiltration et diminue l'érosion [6] et qu'il contribue à augmenter la conductivité hydraulique des sols en diminuant les effets du sodium échangeable [6]. On pense que le gypse CaSO_4 apporte des ions Ca^{2+} qui remplacent le sodium et favorisent la floculation des colloïdes du sol et ainsi la formation d'une structure grumeleuse poreuse. Les pores favorisent le lessivage. Le gypse pourrait ainsi permettre une élimination plus rapide du sodium en excès dans les sols salés et ainsi rendre de nouveau fertiles les sols qui ont été submergés par l'eau de mer.

A2.1-Protocole

Trois autres bacs ont subi le même traitement que dans la partie A1) en revanche, ici, les bacs ont été arrosés non avec de l'eau de pluie mais avec 1800 ml de solution salée. Dans les deux expériences les lentilles ont été semées comme indiquées dans le IA). La germination a été étudiée après 4 semaines. Les bacs terre + lentilles et terre + gypse + lentilles sont des témoins de cette expérience.

A2.2-Résultats et interprétation



Figure 4 : Photo d'un bac contenant du gypse 4 semaines après avoir planté les graines de lentilles

Nous avons observé au cours de la première expérience réalisée que le gypse n'a pas permis de restaurer la fertilité de notre sol. Ce qui a été confirmé par notre seconde expérience. Ce résultat est inattendu vis-à-vis de la bibliographie et des résultats obtenus sur le sol argilo-calcaire présent en Vendéen.

Nous envisageons la possibilité que la quantité de sel dans notre modèle reste trop importante. Cela peut être causé par la nature du sol sableux-limoneux mais aussi par notre modélisation de sol salé ou de lessivage. Pour éliminer cette seconde option, nous devrions aussi tester notre modèle avec un sol argilo-calcaire. Si cette approche avait fonctionné, nous aurions pu conclure que l'effet du gypse diffère sur un sol sableux-limoneux. Cela nous aurait permis de réaliser des tests en modifiant la quantité de gypse utilisée.

Pour essayer de comprendre la non-restauration de notre sol par le gypse, nous avons voulu comparer des paramètres physico-chimiques dans les différents bacs tels que le pH, la conductimétrie et l'hygrométrie.

III. Etude des caractéristiques physico-chimiques des différents sols

L'étude des caractéristiques physico-chimiques du sol sablo-limoneux permet de vérifier les différentes hypothèses qui expliqueraient pourquoi l'expérience n'a pas démontré ce que nous attendions au départ.

A-Mesure du pH

L'objectif de cette expérience est de mesurer les valeurs du pH dans les différents bacs . Les lentilles tolèrent des sols au pH allant de 6 à 9 avec un optimum autour de 7 [9]. Elles ne germent pas en dehors de cette plage. Nous souhaitons donc vérifier si ce seuil avait été atteint dans certains de nos bacs.

A1- Procédure

Après avoir étalonné le pH mètre avec des solutions tampons de pH 4 et 7, 20 g de terre ont été prélevés dans chaque bac puis versés dans un bécher de 100 ml. 50ml d'eau distillée ont ensuite été ajoutés puis mélangés avec la terre à l'aide d'un agitateur magnétique . La solution obtenue a été par la suite filtrée par un filtre Büchner et le pH a été mesuré.

A2) Résultat

Les valeurs de pH mesurées dans des bacs présentant des conditions identiques varient. Pour tenter de comprendre le problème nous avons décidé de répéter la manipulation. Nous avons ensuite calculé une moyenne des résultats. Néanmoins ces résultats ne nous permettent pas de montrer une corrélation entre la valeur du pH mesuré et le type de sol.

B-Mesure de la conductimétrie

B1-Protocole

Nous avons utilisé le même protocole que pour l'analyse du pH mais la solution préparée a cette fois-ci été utilisée pour mesurer la conductimétrie du sol à l'aide d'un conductimètre.

B2-Résultat et interprétation

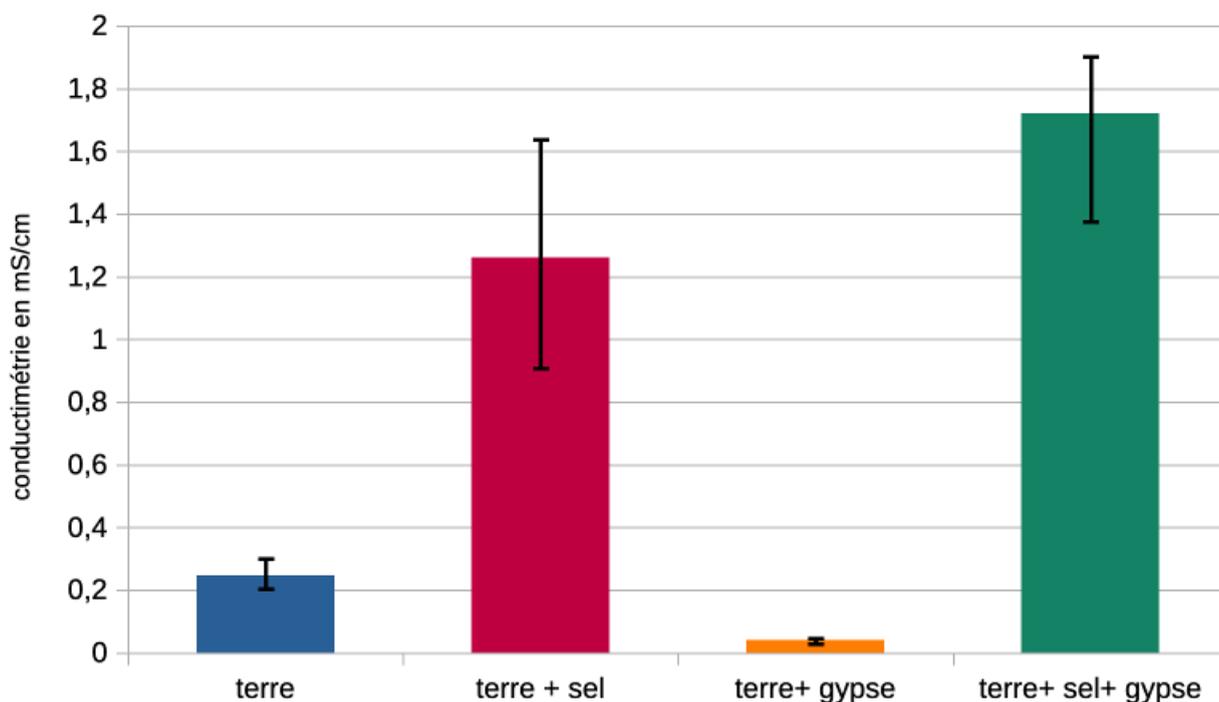


Figure 5: Moyenne sur 3 bacs de la conductimétrie (début de la deuxième expérience) en fonction du type de sol

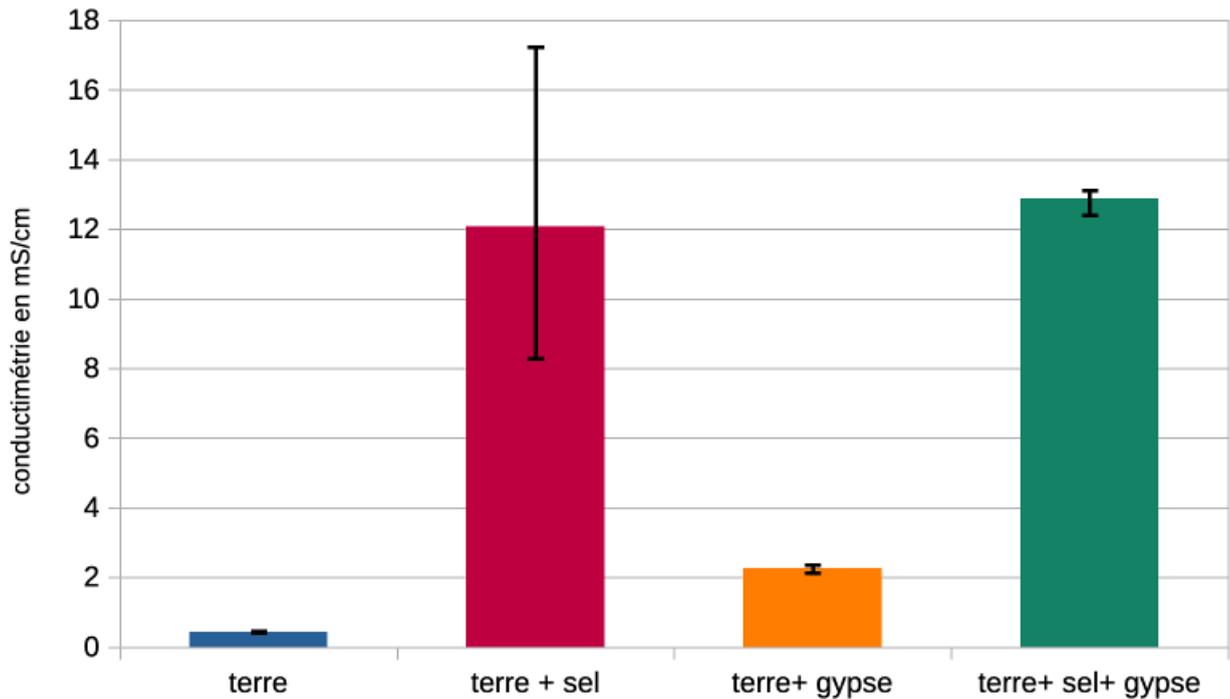


Figure 6: Moyenne sur 3 bacs de la conductimétrie (fin de la première expérience) en fonction du type de sol

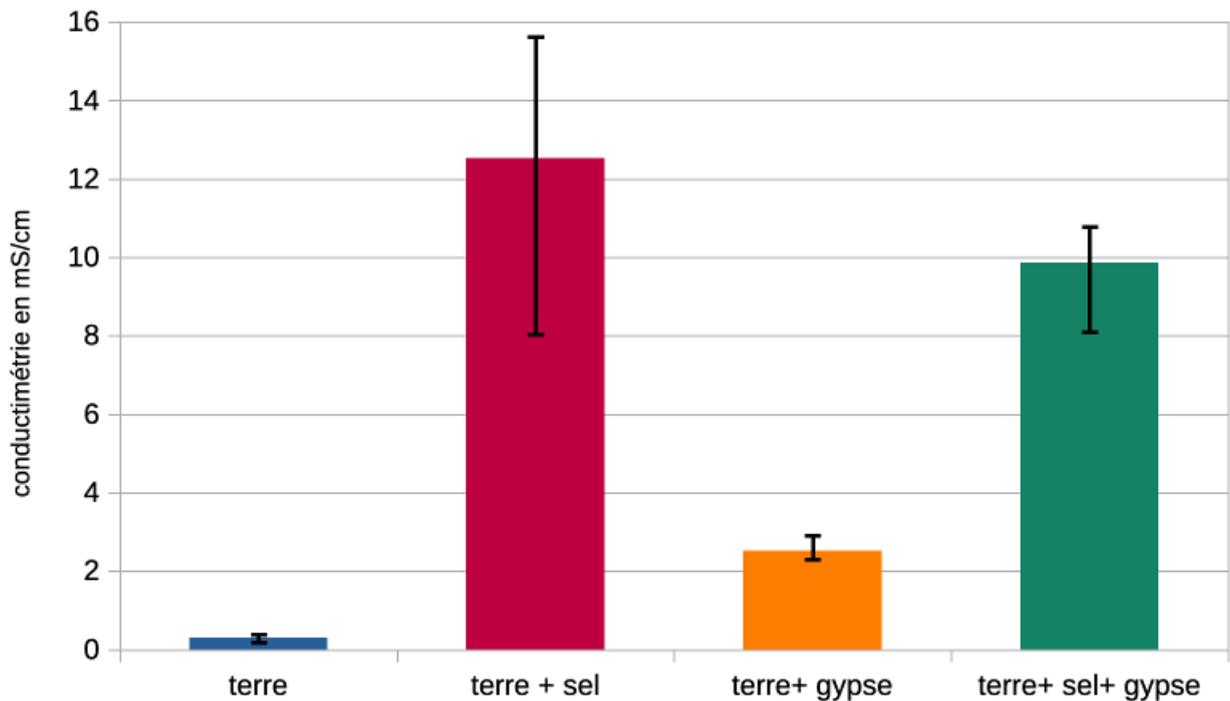


Figure 7: Moyenne sur 3 bacs de la conductimétrie (fin de la deuxième expérience) en fonction du type de sol

L'analyse de la conductimétrie nous permet d'observer expérimentalement si le gypse a un réel impact sur la diminution de la salinité du sol.

Nous pouvons anticiper une diminution de la conductivité due à l'apport de gypse qui accroît la porosité du sol facilitant ainsi l'évacuation des ions.

On observe une tendance de la conductimétrie de 12 mS.cm⁻¹ avec la terre salée soit environ 6 fois supérieure que les bacs sans sels. Donc la conductimétrie permet de montrer que le sel a un réel impact sur le sol.

C) Analyse de l'hygrométrie

Nous avons également effectué une mesure de l'hygrométrie, la terre contenant du sel semblait empiriquement plus saturée en eau que celles qui n'avaient pas de sel. Nous pensions qu'un excès d'eau aurait pu expliquer la non germination de nos lentilles dans les bacs contenant de la terre et du sel. De plus, nous avons observé dans les bacs salés des graines de lentilles qui avaient moisie. Un des facteurs principaux pouvant influencer la présence de moisissures de la graine est l'humidité de celle-ci [C]. Nous avons donc cherché à savoir si l'hygrométrie était différente en fonction des bacs.

C1-Procédure

50 g de terre ont été prélevés dans chaque bac puis déposés dans des récipients séparés et mis sous étuve à 60°C pendant 7 jours [C].

Les mesures ont été prises tous les 2 jours jusqu'à ce que la masse se stabilise [C].

C2-Résultat et interprétation

La figure 2 présente le pourcentage en masse moyenne des échantillons de chaque type de terre après 7 jours. Plus la masse finale est petite, plus la quantité d'eau est importante dans l'échantillon.

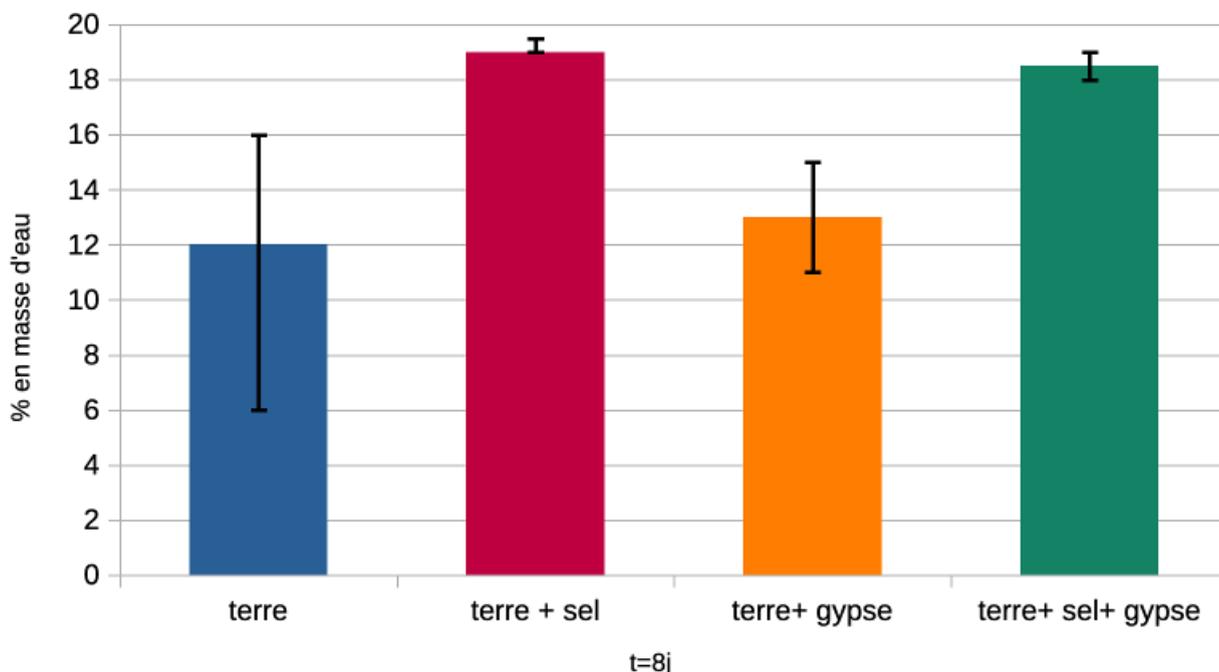


Figure 8 : Diagramme d'évolution de la masse moyenne sur 3 bacs (indicateur de l'hygrométrie) en fonction du type de sols.

Nous n'avons certes que 3 valeurs pour chaque type de sol, nous pouvons néanmoins observer une tendance.

La masse des échantillons ne contenant pas de sel après l'étuve est de 43.5g +/- 0.5 g. Tandis que les bacs contenant du sel sont de 40 g +/- 0,5g. Le rapport entre les deux bacs nous donne un écart de 9%. Cet écart peut s'expliquer par une présence plus importante d'eau dans les sols contenant du sel. Ainsi l'hygrométrie est un facteur ayant pu avoir un impact sur la germination de nos graines.

Conclusion:

Nous avons pu confirmer que le sel a un impact négatif sur le sol qu'il soit argilo-calcaire ou sableux-limoneux. En effet, il inhibe la germination des graines de lentilles.

Afin de restaurer le sol, du gypse peut être répandu dans les parcelles affectées par le sel. Cette expérience a été réalisée en Vendée sur un sol argilo-calcaire [A]. De notre côté, nous avons cherché à voir si cette restauration pouvait se faire sur un sol différent, type sableux limoneux. Il s'est avéré sans effet positif ou négatif sur la germination des lentilles et sur le sol étudié. La répétition de la manipulation a permis de confirmer cette première observation.

Afin de mieux prendre conscience des variables pouvant affecter cette expérience, nous avons analysé différents paramètres physico-chimiques tels que la conductimétrie et l'hygrométrie.

Après avoir observé la germination des lentilles dans un sol sablo-limoneux, nous en avons conclu que le gypse n'a pas le même effet selon la nature du sol.

A-Critiques

Divers critères pourraient expliquer pourquoi notre modèle diffère de celui élaboré pour la tempête Xynthia.

- La différence de gypse: les agriculteurs vendéens ont utilisé du gypse venant d'Espagne contenant des morceaux. Pour des raisons pratiques et des questions de budget nous avons pris du gypse en poudre, le gypse utilisé aurait pu avoir une composition différente et donc modifier des valeurs et erronés des résultats.
- Le sol dans un champ contient des êtres vivants comme des vers de terre, des insectes qui ont un rôle majeur d'aération et de compostage de la terre. Pour des raisons d'éthique nous avons enlevé la micro et la macro-faune ce qui aurait pu avoir un impact sur la qualité de notre sol et donc sur nos cultures.
- La profondeur d'un champ agricole a pu impacter la solubilité du sel dans le sol et permettre un plus grand lessivage. La taille de nos bacs a pu être un facteur limitant sur le déplacement de nos ions dans le sol.

B-Perspectives

- Afin de vérifier notre modélisation nous pouvons modéliser un sol argilo-calcaire
- La porosité du sol aurait pu être mesurée afin de valider ou non l'action du gypse à rendre un sol plus poreux sur un sol de type sableux-limoneux.
- Par manque de moyen et de temps, nous n'avons pas pu réaliser d'expériences avec des concentrations en gypse plus ou moins importantes que celle conseillée.

Remerciements:

Nous remercions chaleureusement Dominique Vrignaud, agriculteur ayant subi la tempête Xynthia qui nous a orienté pour le protocole de modélisation de la tempête. La Chambre d'agriculture du Loiret qui nous a donné des conseils sur la réalisation de nos protocoles. Mathieu Cloup, chef d'exploitation et toute son équipe qui nous ont aidé à la réalisation de notre projet en nous fournissant des informations et du matériel.

SOURCES BIBLIOGRAPHIQUES, WEB et CONTACTS

- [1]: JOSSE, Guillaume (2024). *Page botanique*. Futura Sciences. Consulté le 27/11/24. URL : <https://www.futura-sciences.com>
- [2]:BUECHEL Troy (29 Mars, 2019). *Porosité à l'air : Qu'est-ce que c'est et pourquoi est-ce important ?* PTHorticulture . Consulté le 22/11/24.
URL:<https://www.pthorticulture.com/fr-ca/zone-du-savoir/porosite-a-lair-quest-ce-que-cest-et-pourquoi-est-ce-important>
- [3]:LALOË Franck (2001). *Page d'accueil*. HAL. Consulté le 13/12/24.
URL :<https://hal.science/>
- [4]: FRIEDEL Edmond (1941). *Page d'accueil*. BRGM . Consulté le 11/02/25. URL : <https://www.brgm.fr/fr>
- [5]: IGN (2006). *Page d'accueil*. Géoportail [Site institutionnel]. Consulté le 27/11/24.
URL : <https://www.geoportail.gouv.fr/>
- [6]:HIOUANI Fatima(2016). "étude expérimentale de l'influence du gypse sur la dynamique de l'azote des amendements organiques (fiente de volaille, fumier ovin) et cinétique d'absorption par une graminée fourragère". Université de Biskra. URL : <http://thesis.univ-biskra.dz/2549/>
- [7]:GODFRYD Aude (22 février 2024). *L'eau de pluie est-elle meilleure pour les plantes que l'eau du robinet ?* Le Figaro
URL:<https://www.lefigaro.fr/jardin/l-eau-de-pluie-est-elle-meilleure-pour-les-plantes-que-l-eau-du-robinet-20240222>
- [8]:chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/<https://www.fnams.fr/wp-content/uploads/2021/04/2021-04-fichebio-lentille.pdf>

Contacts

- [A] : Dominique Vrignaud, agriculteur ayant subi la tempête Xynthia qui nous a transmis de nombreuses informations et nous a aiguillé tout au long de notre projet
- [B] : Jean-Louis Réveiller, Conseiller productions végétales
- [C] : Aurianne Eisenberg, Ingénieure de l'Agriculture et de l'Environnement
- [C] : Chambre d'agriculture du Loiret